



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

지그비 환경에서 개선된 문턱값, 쿼드트리와  
웨이브렛을 이용한 영상압축 및 잡음제거

A compression and denosing of image using enhanced threshold value,  
Quadtree and wavelet under environment of ZigBee

지도교수 김 기 문



2009년 2월

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

전 자 통 신 공 학 과

곽 칠 성

本 論文을 曷칠성의 工學博士 學位論文으로 認准함.

위원장 양 규 식 인

위 원 이 상 배 인

위 원 김 동 일 인

위 원 임 중 근 인

위 원 김 기 문 인

2009년 2월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

|   |     |
|---|-----|
| Abstract .....                          | vi  |
| 제1장 서론 .....                            | 1   |
| 1.1 연구의 배경 .....                        | 1   |
| 1.2 연구의 목적 및 내용 .....                   | 3   |
| 제2장 지그비 네트워크 .....                      | 7   |
| 2.1 유비쿼터스 컴퓨팅 .....                     | 7   |
| 2.2 유비쿼터스 센서 네트워크 .....                 | 9   |
| 2.3 애드혹 네트워크와 그 응용 .....                | 11  |
| 2.4 지그비 네트워크 .....                      | 13  |
| 제3장 웨이브렛 변환과 영상처리 .....                 | 18  |
| 3.1 웨이브렛 변환 개요 .....                    | 18  |
| 3.2 푸리에 변환과 웨이브렛 변환 .....               | 19  |
| 3.3 다중해상도 분석과 이산 웨이브렛 변환 .....          | 25  |
| 3.4 영상신호의 웨이브렛 변환 .....                 | 31  |
| 제4장 개선된 문턱값 설정 방법과 디지털 영상의 잡음제거와 압축 ... | 35  |
| 4.1 디지털 영상의 잡음제거 개요 .....               | 35  |
| 4.2 웨이브렛 수축법을 이용한 잡음제거 .....            | 36  |
| 4.3 임펄스 잡음의 위치에 따른 적응 문턱값을 이용한 잡음제거 ... | 40  |
| 4.4 디지털 영상 압축의 개요 .....                 | 47  |
| 4.5 쿼드트리 기법 .....                       | 50  |
| 4.6 웨이브렛 변환 기반의 쿼드트리 영상압축 시스템 .....     | 55  |
| 4.7 개선된 문턱치 선정에 의한 잡음제거와 영상압축의 통합 ..... | 66  |
| 4.8 영상 화질의 객관적 평가방법 .....               | 69  |
| 제5장 실험 및 평가 .....                       | 71  |
| 5.1 실험구성 및 평가방법 .....                   | 71  |
| 5.2 잡음제거 실험 및 평가 .....                  | 76  |
| 5.3 영상압축 실험 및 평가 .....                  | 92  |
| 5.4 통합 알고리즘에 대한 실험 및 평가 .....           | 103 |
| 제 6 장 결론 .....                          | 113 |
| 참고문헌 .....                              | 115 |

## 표 차 례

|   |     |
|---|-----|
| 표 1.1 2.4 GHz 대역의 지그비 모듈의 규격 .....              | 16  |
| 표 4.1 잡음제거 및 압축을 위한 문턱값 설정 방법 .....             | 67  |
| 표 5.1 1% 임펄스 잡음 + 5% 가우시안 잡음의 경우 .....          | 85  |
| 표 5.2 압축 실험 결과 요약 .....                         | 102 |
| 표 5.3 잡음제거 & 압축 실험 결과의 PSNR (0.25 bpp 압축비)..... | 108 |



## 그 림 차 례

|   |    |
|---|----|
| 그림 3.1 국소푸리에 변환과 웨이브렛 변환의 시간-주파수 해상도 ....     | 22 |
| 그림 3.2. 웨이브렛 함수 예 .....                       | 24 |
| 그림 3.3 근사공간과 웨이브렛 공간 .....                    | 27 |
| 그림 3.4 웨이브렛 분해와 복원 과정 .....                   | 32 |
| 그림 3.5 2차원 영상에 대한 1-레벨 웨이브렛 분해 .....          | 33 |
| 그림 3.6 Lena 영상과 3-레벨 웨이브렛 분해된 Lena 영상 .....   | 33 |
| 그림 4.1 웨이브렛 수축법의 처리과정 .....                   | 37 |
| 그림 4.2 웨이브렛 수축법 (a) 하드 문턱처리 (b) 소프트 문턱처리 ...  | 38 |
| 그림 4.3. 제안한 잡음제거 시스템 .....                    | 42 |
| 그림 4.4 미분 연산을 위한 로버츠 공간 마스크 .....             | 43 |
| 그림 4.5 2차원 웨이브렛 계수의 마스킹 연산 .....              | 44 |
| 그림 4.6 웨이브렛 계수를 미분하고 문턱처리한 결과 .....           | 45 |
| 그림 4.7 임펄스 잡음 영상과 잡음 위치정보 마스크 .....           | 46 |
| 그림 4.8 영상압축 과정 .....                          | 49 |
| 그림 4.9 쿼드트리 분해법 .....                         | 51 |
| 그림 4.10 쿼드트리 분해과정 .....                       | 52 |
| 그림 4.11 $2^3 \times 2^3$ 영상에 대한 쿼드트리 표현 ..... | 54 |
| 그림 4.12 이산 여현 변환 .....                        | 56 |
| 그림 4.13 DWT 기법 .....                          | 57 |
| 그림 4.14 제안기법 .....                            | 57 |
| 그림 4.15 5-레벨 웨이브렛 분해 .....                    | 58 |
| 그림 4.16 대역별 문턱값 및 양자화 레벨 설정 .....             | 60 |
| 그림 4.17 3-레벨 쿼드트리의 수치 예제 .....                | 62 |
| 그림 4.18 ‘영블록 위치정보’ 생성 방법 예제 .....             | 63 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 그림 4.19 '영블록 위치정보'의 십진수 표현 .....    | 64 |
| 그림 4.20 영블록 위치정보 생성 결과 .....        | 65 |
| 그림 4.21 제안한 잡음제거 및 영상압축 시스템 .....   | 68 |
| 그림 5.1 비래해충 포획 장치 .....             | 72 |
| 그림 5.2 카메라와 지그비 모듈 .....            | 73 |
| 그림 5.3 비래해충 포획 장치 .....             | 73 |
| 그림 5.4 포획 영상 .....                  | 74 |
| 그림 5.5 실험영상 .....                   | 75 |
| 그림 5.6 '01' 영상과 잡음영상 .....          | 77 |
| 그림 5.7 '02' 영상과 잡음영상 .....          | 78 |
| 그림 5.8 '03' 영상과 잡음영상 .....          | 79 |
| 그림 5.9 '04' 영상과 잡음영상 .....          | 80 |
| 그림 5.10 'Lena' 영상과 잡음영상 .....       | 81 |
| 그림 5.11 잡음제거된 '01' 영상의 PSNR .....   | 82 |
| 그림 5.12 잡음제거된 '02' 영상의 PSNR .....   | 83 |
| 그림 5.13 잡음제거된 '03' 영상의 PSNR .....   | 83 |
| 그림 5.14 잡음제거된 '04' 영상의 PSNR .....   | 84 |
| 그림 5.15 잡음제거된 'Lena' 영상의 PSNR ..... | 84 |
| 그림 5.16 '01' 영상의 잡음제거 결과 .....      | 87 |
| 그림 5.17 '02' 영상의 잡음제거 결과 .....      | 88 |
| 그림 5.18 '03' 영상의 잡음제거 결과 .....      | 89 |
| 그림 5.19 '04' 영상의 잡음제거 결과 .....      | 90 |
| 그림 5.20 'Lena' 영상의 잡음제거 결과 .....    | 91 |
| 그림 5.21 '01' 영상의 BPP vs. PSNR ..... | 93 |
| 그림 5.22 '02' 영상의 BPP vs. PSNR ..... | 94 |
| 그림 5.23 '03' 영상의 BPP vs. PSNR ..... | 94 |
| 그림 5.24 '04' 영상의 BPP vs. PSNR ..... | 95 |

|   |     |
|---|-----|
| 그림 5.25 'Lena'영상의 BPP vs. PSNR .....          | 95  |
| 그림 5.26 '01' 영상, 0.1bpp .....                 | 97  |
| 그림 5.27 '02' 영상, 0.105bpp .....               | 98  |
| 그림 5.28 '03' 영상, 0.097bpp .....               | 99  |
| 그림 5.29 '04' 영상, 0.1bpp .....                 | 100 |
| 그림 5.30 'Lena' 영상, 0.125bpp .....             | 101 |
| 그림 5.31 '01'의 잡음제거 및 영상압축, 0.25bpp .....      | 104 |
| 그림 5.32 '02'의 잡음제거 및 영상압축, 0.25bpp .....      | 105 |
| 그림 5.33 '03'의 잡음제거 및 영상압축, 0.25bpp .....      | 106 |
| 그림 5.34 '04'의 잡음제거 및 영상압축, 0.25bpp .....      | 107 |
| 그림 5.35 '01'의 잡음제거 및 영상압축 미분결과, 0.25bpp ..... | 109 |
| 그림 5.36 '02'의 잡음제거 및 영상압축 미분결과, 0.25bpp ..... | 110 |
| 그림 5.37 '03'의 잡음제거 및 영상압축 미분결과, 0.25bpp ..... | 111 |
| 그림 5.38 '04'의 잡음제거 및 영상압축 미분결과, 0.25bpp ..... | 112 |





# Abstract

In this paper, a method of the digital image denoising and compression is discussed, which should be necessary to send a digital image through the ZigBee based networks. The information of digital image may be demanded on more variable application at the ubiquitous society, recently. Therefore, it provides a wide activity for the information of digital image to be acquired, sent, and stored through not only wire but also wireless networks. Also, it is expected to become a vast application such as tele-image monitoring system in sending a digital image through ZigBee networks what is called ubiquitous sensor networks. ZigBee is designed to minimize the consumption power of sensors. So, the lifetime can be a few years with one battery. Also, because the architecture of Zigbee is simple, it has the benefit that its size is small, it is economical and it is designed easily. However, it has the limit that it is difficult to send a image data, because of the low speed, compared with other wireless communication methods. Therefore, in order to send a digital image effectively under the environment of the low speed networks such as ZigBee, it should be necessary to denoise and compress the digital image. In the research of human vision system, it is the well known fact that the eye filters a image into multiple bands. The problem of degradation in high compression of image can be solved to eliminate the subband image which is not sensitive in the human vision among the multiple bands. By using the wavelet transformation which is the image decomposition method similar to human vision system, the original image can be decomposed into some subband images, and then, it can be possible to compress the image effectively considering the importance of each bands. Hence, the wavelet transformation is very effective for image

compression, which is similar to human vision system, and provides both frequency information and spacial information of image. The research is actively performing in which many coding algorithm is applied with multi-resolution decomposed image by wavelet transformation, recently. In order to send a digital image under the environment of ZigBee networks, it is important task to minimize a loss of information caused by degradation and to reduce the size of data by maximally lowering the bitrate, though the permissible rate of compression is decided by the kind of application. The experiments is the example of actually implementable tele-monitoring system sending a digital image through ZigBee networks. For this experimental environment, tele-monitoring system through ZigBee networks is constructed virtually. And the Gaussian noise and impulse noise is reduced which can be present by processing the system. Then the compression method of denoising image data is discussed. First, after degradation capturing image with noise is transformed by wavelet, the method of selecting a threshold value is proposed, in which the noise corrupted coefficients is found. The selected threshold value can discriminate between the edge and noise. Second, in this paper, the image compression method is proposed by applying a block quantization based quadtree for the multiresolution decomposed digital image through wavelet transformation.

After the discussion of image denoising and compression, each proposed method is integrated by setting a compression rate control threshold value into denoising adaptive threshold value. So the integrated method can improve the performance of image denosing and compression. Finally, in order to show a validity of proposed method, the experimental results is evaluated by performing image denoising and compression both with proposed method and conventional method.

In the experiments, the image size is 256 x 256 pixel and one pixel has a 8 bit data length. And the number of image is capturing image 4 and general standard image 1. In each image, Gaussian noise and impulse noise is added artificially. For the purpose of evaluating the precise performance of each method, PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio), the objective evaluation measure of comparing the picture quality, and the subjective comparing method are introduced. Especially, PSNR of differential image also introduced by which the effect of noise reduction and the degree of edge components preservation are quantified.



# 제1장 서론

## 1.1 연구의 배경

최근 유비쿼터스 사회로의 진입으로 영상 정보에 대한 다양한 요구가 증대되고 있으며, 이에 따라 유선은 물론이고 무선 네트워크를 통한 디지털 영상정보의 획득, 전송, 저장이 매우 활발하게 이루어지고 있다. 더구나 유비쿼터스 센서 네트워크라고 일컬어지는 지그비(ZigBee) 네트워크에서의 영상전송의 활용은 원격지 영상 모니터링 시스템을 비롯하여 그 응용이 상당히 다양해 질 것으로 예상되고 있다[1]~[7].

국내에서는 정보통신 강국에 걸맞게 전파통신 관리[8]가 잘 이루어지고 있으며, 이에 따른 지그비 전파통신관련 내용도 활발히 논의되고 있다[9]~[10].

지그비는 저전력, 저가격, 사용의 용이성을 가진 근거리 무선센서네트워크의 대표적 기술 중의 하나로 IEEE 802.15.4 표준의 PHY층과 MAC층을 기반으로 상위 프로토콜(Protocol)과 응용을 규격화한 기술을 의미한다[11]~[14].

지그비는 표준화 당시부터 어플리케이션 영역을 원격검침, 원격제어 또는 원격 모니터링에 맞추었으며, 자주 전송이 이루어 지지 않으면서 저속통신 요구하는 응용인 전등제어, 원격검침, 리모콘 등에 가장 효과적인 표준으로 시작하였으나 최근 들어, 지그비 네트워크를 통한 영상 정보의 통신 요구가 날로 증대되어 가고 있다.

특히, 최근 홈 네트워크와 유비쿼터스에 대한 관심이 높아지면서 무선으로 100m 이내의 근거리에 사용되는 지그비 네트워킹 기술이 크게 주목을 받고 있다. 이 지그비 기술은 정부가 주도하는 IT839의 3대 인프라 중에 하나인 유-센서(U-Sensor) 네트워크의 구현에 크게 기여할 것으로 기대 된다.

지그비는 센서의 전력소모를 최대한 낮출 수 있도록 설계되어 하나의 배터

리로도 수년간 사용할 수 있고, 구조까지 간단해서 설계가 쉽고 크기가 작으며 경제성을 갖추었다는 장점이 있는 반면, 다른 무선통신 방식에 비하여 통신 속도가 낮아 영상과 같은 데이터를 실시간으로 전송하기 어려운 제약이 있다.

따라서, 지그비와 같이 통신 속도가 낮은 네트워크 환경에서 효과적으로 영상을 전송하기 위해서는 영상압축(Image Compression) 처리가 반드시 필요하다.

일반적인 영상압축 기법은 영상 안에 존재하는 통계적인 여분(Statistical Redundancy)을 제거하여 수행된다[15]. 이러한 통계적 접근법의 예로, 이산 여현 변환(DCT, Discrete Cosine Transform), 차분 펄스 부호 변조(DPCM, Differential Pulse Code Modulation), 그리고 부대역(Subband) 영상의 엔트로피 부호화(Entropy Coding)등이 있다[16]~[17]. 여분을 제거하는 것만으로는 압축할 수 있는 양이 제한된다. 더 높은 압축율을 얻기 위해서는, 여분이 아닌 정보의 일부분도 제거되어야만 한다. 하지만, 통계적 부호기가 이러한 손실 압축 모드(Loss Compression Mode)로 동작하면, 바람직하지 않은 시각상의 화질저하를 가져온다. 왜냐하면, 영상에서 시각적으로 중요한 특징 모서리(Feature Edges)와 같은 성분에 오차가 발생하기 때문이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 인간의 시각 시스템과 유사한 영상분해 방법인, 웨이브렛 변환(Wavelet Transform)[18]을 이용하면, 원 영상을 몇 개의 부대역 영상(Subband Image)으로 나눌 수 있고, 각 대역별 중요성을 고려한 손실 압축이 가능해진다. 즉, 인간의 시각에서 상대적으로 둔감한 부대역 영상을 제거하여 고압축에서의 화질 저하 문제를 어느 정도 해결할 수 있다. 인간의 시각 시스템에 관한 연구에 의하면, 인간의 눈은 영상 정보를 다수개의 대역으로 여파(Filter)한다는 것이 알려져 있다[19]. 이 대역들 각각의 주파수 폭은 거의 한 옥타브(One Octave)정도이다. 더욱이, 공간 영역(Spatial Domain)에서, 영상은 다수의 상이한 축척(Scales)의 정보로 이루어진다고 간주된다. 이러한 사실을 근거로 하여, Marr는 영상 안에서의 명암도(Intensity) 변화를 야기하는 물리현상은 공간적으로 지역화(Localization)된다는 제약조건에 대한 공

식(Formula)을 유도하였다[20].

이처럼 인간의 시각시스템과 유사하며 영상의 주파수 정보와 공간 정보를 동시에 제공하는 웨이브렛 변환은 영상압축에 매우 효과적임이 잘 알려져 있고, 최근 들어 웨이브렛 변환으로 다해상도 분해된 영상에 여러 가지 부호화 알고리즘을 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[21]. Antonini등은 변환계수 부호화에 벡터 양자화를 적용하는 기법을 소개하였고[22], R. de Queiroz는 웨이브렛 변환 후, 계수들을 JPEG 포맷으로 변환하고 스칼라 양자화를 적용하는 방법을 제안하였다[23]. 또한, Shapiro에 의해 제안된 EZW(Embedded Zerotree Wavelet transform)방법[24]과 Said와 Pearlman에 의해 제안된 SPIHT(Set Partitioning In Hierarchical Trees)방법[25]은, 부호화하기 위해 구조화된 계수 집합인 제로트리(Zerotree)를 사용하여 중요하지 않은 웨이브렛 계수들이 주파수 대역간에 갖고 있는 상관성을 이용하여 매우 우수한 압축성능을 보였으나, 스캔 및 부호화 과정에서 연산량의 증가로 이를 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다[26].

쿼드트리 분해(Quadtree Decomposition) 알고리즘은 영상의 다해상도 표현을 얻기 위해 사용된 고전적 기법중의 하나이다. 쿼드트리 분해는 변환부호화보다 상대적으로 간단하고, 분해된 결과가, 다양한 해상도의 부대역 영상으로 표현되기 때문에 영상인식 및 압축과 같은 영상처리에 효과적으로 응용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 쿼드트리 기반 압축 알고리즘이 DCT와 같은 변환 기반 알고리즘보다 압축률이 낮기 때문에, 다양한 방법으로 쿼드트리의 성능개선에 대한 연구가 진행 중이다[15]~[21].

## 1.2 연구의 목적 및 내용

본 연구에서는, 상기와 같이 주목받고 있는 지그비 기반 네트워크 환경하에

서 영상을 전송하는 방법에 대하여 논의한다.

지그비 네트워크 환경하에서 영상을 전송하기 위해서는 영상의 비트레이트를 최대한 낮추어 데이터량을 축소하는 것과 이 과정에서 발생할 수 있는 화질 열화로 인한 정보 손실을 최소화하는 것이 중요한 과제로, 어떠한 응용에 적용하는지에 따라 허용할 수 있는 압축률이 정해진다.

하나의 응용 예로서 비래해충 모니터링 시스템을 고려한다. 이는 원격에서 포충기에 포획된 비래해충의 수를 모니터링하기 위해 포획부를 촬영한 영상을 지그비 네트워크로 전송하는 시스템이다. 비래해충이란 순수 어휘로만 해석하자면 비래는 “날아옴”의 뜻을 지니고 해충은 해로운 곤충을 뜻한다. 멸구류에 속하는 날아다니는 유해한 곤충의 의미이며 식품위생에 영향을 주는 파리가 대표적인 비래해충이다. 이러한 비래해충을 원격지에서 감시하는 비래해충 모니터링 응용의 경우, 포획된 해충의 개체수를 정확히 파악하는 것이 중요한 목표인데, 기존의 방법인 DCT 기법으로 압축하여 원격지로 전송할 경우 개체수 정보의 손실이 발생될 수 있다.

상기와 같은 문제를 해결하기 위해, 식품위생과 관련한 비래해충 포획 및 모니터링 시스템에서 중요하게 사용되는 포획부 영상을 대상으로, 지그비 네트워크를 통한 원격지 모니터링 시스템을 가상으로 구성하고, 그 처리과정에서 존재할 수 있는 임펄스 잡음과 가우시안 잡음을 제거하고, 잡음제거된 영상 데이터를 압축하는 방법에 대해 논의한다.

먼저, 잡음으로 손상된 포획부 영상에 대하여 웨이브렛 변환 후, 상세 부분대역(Detail Subband)에 대해 계수를 미분하여 임펄스 잡음의 위치를 나타내는 이진 마스크를 생성한다. 생성된 마스크를 통하여 잡음에 손상된 계수를 찾아내고 이를 주변 계수의 중앙값으로 치환하여 새로운 상세 부분대역 계수를 생성하고, 이에 대한 중앙절대편차(MAD, Median Absolute Deviation)를 이용하여 모서리와 잡음을 구분하는 기준(문턱값)으로 사용한다. 이는 영상에 포함된 잡음의 통계량에 따른 적응 문턱값 선택 방법으로 크기가 큰 몇몇 변환계수에 의해 전체 평균이 바뀌는 표준편차를 이용한 문턱값 설정보다 효율적인 잡음제

거가 가능해 진다.

다음으로, 웨이브렛 변환으로 다해상도 분해된 디지털 영상에 대해 픽셀간의 상관도와 '0'정보를 모아 효과적으로 압축할 수 있는 쿼드트리 기반 블록 양자화(Quadtree Based Block Quantization)를 적용하여 영상을 압축하는 방법을 제안한다. 비래해층 영상의 웨이브렛 계수는 스케일간의 상관도와 에너지 집중도가 높기 때문에 쿼드트리 기법을 적용할 경우 보다 효과적으로 데이터량을 압축할 수 있다. 또한, 잡음제거와 영상압축을 순차적으로 수행하는 과정에서, 영상압축의 압축률 조절 문턱값을 잡음제거 적응 문턱값으로 설정하여, 잡음제거와 압축 성능을 동시에 개선할 수 있도록 한다.

제안한 방법의 타당성 검증을 위해,  $256 \times 256$  크기의 8bit 포획부 영상 4장과 영상처리에서 널리 사용되는 일반 표준영상 1장에 대해 인위적으로 임펄스 잡음과 가우시안 잡음을 추가하고, 기존의 방법들과 제안한 방법으로 각각 잡음제거와 영상압축을 수행하여 그 결과를 비교 평가한다. 특히, 각 방법들의 보다 정확한 성능 평가를 위해 화질 비교의 객관적 평가 척도(Measure)인 PSNR(Peak signal-to-noise ratio)과 주관적 영상비교 방법 이외에, 미분영상의 PSNR 방법을 도입함으로써 모서리 성분의 보존정도와 임펄스성 잡음제거 효과를 정량화하였다.

논문의 구성은 다음과 같다.

1장에서는, 논문의 연구 배경에 대해 간략히 소개하고 본 연구의 주제와 접근방법에 대해 논의한다. 2장은 지그비 네트워크에 대해 간략히 설명한다. 3장은 연구의 핵심 변환 도구인 웨이브렛 변환의 이론적 배경과 원리, 그리고 영상 신호와의 관계를 논의한다.

4장에서는, 먼저 잡음제거에 대한 기본 개념을 설명한 후, 기존 방법인 웨이브렛 수축법을 이용한 영상의 잡음제거 방법에 대해 설명한다. 그리고, 기존 방법을 개선하여, 변환 계수의 미분과 중앙편차를 이용한 잡음제거 방법을 제시한다. 그 다음으로 영상압축에 대한 기본 개념과 영상전송을 위한 압축의 필요성에 대해 설명한 후, 쿼드트리 분해의 개념을 소개하고 제안한 압축 시스템에



대하여 구체적으로 논의한다. 마지막으로, 잡음제거 방법과 영상압축 방법을 함께 적용하여 포획부 영상에 대해 잡음제거와 동시에 압축을 수행하는 방법에 대해 논의하여 제안한 잡음제거 문턱값을 영상압축의 압축률 조절 문턱값으로 활용하여 두 방법을 효과적으로 결합하는 방법을 제시한다.

5장에서는 실험장치의 설명과 실험에 사용한 포획부 영상에 대해 이산 웨이브렛 변환을 수행하여 본 연구의 주제 설정과 연구방법의 타당성을 확인한다. 마지막으로 6장에서는 각 장에서 논의한 결과를 총괄하여 결론을 짓고, 향후 연구과제에 대해 논의한다.



## 제2장 지그비 네트워크

### 2.1 유비쿼터스 컴퓨팅

‘유비쿼터스(Ubiquitous)’의 사전적 의미는 물이나 공기처럼 시공을 초월해 ‘언제 어디에나 존재한다’는 뜻의 라틴어이다. 최근 유비쿼터스라는 용어가 대두된 이유는 1988년 미국의 사무용 복사기 제조회사인 제록스의 마크 와이저(Mark Weiser)가 ‘유비쿼터스 컴퓨팅’이라는 용어를 처음 사용하면서부터 제3의 정보 혁명을 이끌어 나갈 새로운 패러다임으로 자리매김 하고 있기 때문이다. 최근에 사용되는 ‘유비쿼터스’라는 용어는 사용자가 네트워크나 컴퓨터를 의식하지 않고 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 정보통신 환경이라고 정의되기도 한다.

여기서, 모든 곳에 존재하는 네트워크라는 것은 지금처럼 책상 위 개인용 컴퓨터(PC, Personal Computer)의 네트워크화뿐만 아니라 휴대전화, TV, 게임기, 휴대용 단말기, 카 네비게이터, 센서 등 PC가 아닌 모든 비 PC 기기가 네트워크화되어 언제, 어디서나, 누구나 대용량의 통신망을 사용할 수 있고, 저요금으로 통신 할 수 있는 것을 가리킨다. 다시말해서, 컴퓨터에 어떠한 기능을 추가하는 것이 아니라 자동차·냉장고·안경·시계·스테레오장비 등과 같이 어떤 기기나 사물에 컴퓨터를 내장시켜 통신이 가능하도록 해 주는 정보기술(IT, Information Technology) 환경 또는 정보기술 패러다임을 뜻한다.

그래서 유비쿼터스화된 생활공간은 언제, 어디서든 네트워크로부터 자신이 필요로 하는 정보를 얻을 수 있는 환경으로 정의할 수 있다[1].

세계 선진각국은 국가 성장의 속도가 둔화되는 저성장 사회로의 진입에 새로운 돌파구로서 유비쿼터스 네트워크 기술에 눈을 돌리고 있다. 유비쿼터스 환경하에서는 정보습득과 활용이 최적화돼 소모성 자원의 효율적인 사용이 가

능해짐으로써 지속적 성장이 가능하게 될 것으로 기대하기 때문이다. 더욱이, 유비쿼터스화가 이루어지면 가정·자동차는 물론, 심지어 도서산간지역, 그리고 해양에서도 정보기술을 활용할 수 있고, 네트워크에 연결되는 컴퓨터 사용자의 수도 늘어나 정보기술산업의 규모와 범위도 그만큼 커지게 된다. 결국, 휴대성과 편의성뿐 아니라 시간과 장소에 구애받지 않고도 네트워크에 접속할 수 있는 장점들 때문에 세계적인 개발 경쟁이 치열하게 일고 있다.

또한, 유비쿼터스 기술은 컴퓨터 중심적이라기 보다는 인간중심적인 기술이다. 마치 공기와 같이 인간이 인식하지는 못하지만 인간에게 없어서는 안 되는 아주 중요한 것으로, 사물에 컴퓨터가 내장되어 있어 인간이 매우 편리하게 주변 사물을 이용하고 사물의 사용이 곧 네트워크 접속을 이용하는 것을 의미하면서도 인간은 자신이 사용하는 주변 사물이 컴퓨터라고 인식하지 못하고 자연스럽게 편리하게 사용할 수 있기 때문이다. 더욱이 무엇인가를 희생하면서 이루어지는 혁명이 아니라 컴퓨터, 인간, 사물이 조화롭게 발전할 수 있는 개념이기에 더욱 인간적이라고 할 수 있다. 예를 들어, 유비쿼터스 네트워크 기술이 구현된 사물은 인간이 위치하고 있는 환경의 특성을 모색한 뒤, 그가 필요로 하는 서비스를 제공하게 되고, 더 나아가서는 인간의 심리 파악 역시 가능하다. 이 때문에 인간의 선호도에 따른 서비스가 가능한 인간 중심적 기술이라는 것이다.

또한, 현재 컴퓨터를 다루고 네트워크에 접속하려면 대단히 많은 기술적인 문제로 노인을 비롯한 많은 기술적 소외계층을 만들고 있다. 그러나 유비쿼터스 네트워크가 실현된다면, 더 이상 인간은 컴퓨터 앞에서 기술적인 면 때문에 소외되지 않게 될 것이다.

구체적으로, 주변 사물들이 사람들과 상호작용하기 위해서 사물에 센서노드(Sensor Node)를 달아, 사물들이 인간을 인식하고 지식을 갖게 되어 인간에게 언제 어디서나 도움을 줄 수 있다. 이러한 칩들은 사람의 손톱보다도 작아, 어디에나 장착 가능하다. 무엇보다 더 중요한 사실은 유비쿼터스 시대는, 정보화 시대와는 달리 컴퓨터와의 1대1 대화보다는 다중기기들이 한 사람을 지원하는

기술을 도입한 시대라는 것이다.

결국, 유비쿼터스는 어려운 신기술로 형성된 컴퓨팅 환경이라기 보단, 철학적인 사고와 심리학적 요소가 들어가는 컴퓨팅 환경이라고 말할 수 있다.

## 2.2 유비쿼터스 센서 네트워크

유비쿼터스 컴퓨팅을 구현하기 위한 다섯 가지 핵심기술은 센서, 프로세서, 통신, 인터페이스, 보안이다. 이 중에서 환경을 스스로 인지하고 판단하기 위해서는 센서, 프로세서 및 통신의 기능이 중요한 역할을 하게 된다. 이러한 핵심기술 요소 중 센서를 중심으로 한 유비쿼터스 센서 네트워크(USN, Ubiquitous Sensor Networks) 기술이 유비쿼터스 컴퓨팅의 진입기술로 중요한 의미를 갖는다.

유비쿼터스 센서 네트워크란 센서노드라고 불리는 매우 작은 크기의 독립된 무선 센서들을 건물, 도로, 의복, 인체 등 물리적 공간에 배치하여 주위의 온도, 빛, 소리, 움직임, 자기장 등의 정보를 무선으로 감지, 관리할 수 있는 기술을 의미한다[2]. 다시 말해서, 센서네트워크는 특정지역에 다수의 소형 센서노드를 설치하여 주변정보 또는 특정목적의 정보를 획득하고 베이스 스테이션이 정보를 수집하여 이를 활용하기 위한 서비스 환경을 말한다.

센서 네트워크는 환경 감시를 위한 기반 시설이 없는 곳에 실용적으로 사용될 수 있는 몇 가지 핵심적인 요구사항을 만족시킨다. 독립적으로 동작한다든지 오랜 시간 사용이 가능하도록 에너지를 절약해야 하는 일이 그 중 하나이다. 이러한 요구를 만족시키기는 일은 네트워크에 있는 노드들의 통신 용량 및 계산 능력 등을 제한하므로 시스템을 구축하는데 있어서 어려움이 따른다[3].

센서 네트워크가 기존의 네트워크와 구분되는 점은 기본 목적이 상호간의 정보전달 보다는 자동화된 원격정보의 수집에 있다는 것이다. 즉, 각 센서노드

가 특정목적을 위해 필요한 주변정보를 센싱하고, 센싱된 정보를 센서 노드 간에 무선 통신을 이용하여 특정지점으로 자동화된 방식으로 전달함으로써, 사용자가 센서필드 주변의 정보를 원격으로 수집하여 활용할 수 있다는 것이다. 이러한 특징으로 인하여 원격지 식품위생 감시를 위한 모니터링 시스템에 매우 적합한 기술이라고 할 수 있는 것이다.

일반적으로 센서 네트워크의 전통적인 개념은 무선의 센서 필드 개념을 중심으로 불특정 공간에 배포된 센서로부터 수집된 정보를 일괄적으로 활용하는 무선 센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)을 의미한다.

국내에서는 WSN과 전파식별(RFID, Radio Frequency IDentification)를 통칭하여 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)라고 부르거나 RFID/USN으로 사용하고 있다.

유비쿼터스 센서 네트워크의 기술적인 목표점은 동영상과 같은 정보량이 풍부한 통신을 언제 어디서나 이용할 수 있도록 하는 것이며, 이를 위해 이동통신 기기 등을 통신의 끊김 없이 자유롭게 이용할 수 있으면서도 보안문제가 해결된 안전한 통신이 이루어 져야 한다. 더욱이 어린이, 고령자, 장애인 등 누구나 쉽게 이용할 수 있어야 한다.

이러한 기술적 요구에 대해 현재 유통 콘텐츠의 대용량화, 네트워크 접속 기기 증대, 사용자와 네트워크 관계성의 다양화 등의 변화가 복합, 상승적으로 일어나고 있다.

특히 어떤 기기를 통해서도 컴퓨팅 할 수 있도록 하기 위하여 이동성을 갖는 네트워크 연결이 핵심 요소 기술로 주목받고 있다. 이로 인해 컴퓨팅 환경은 도처에 퍼져있는 다양한 기기에서의 서비스 요구량 증가를 효율적으로 처리할 수 있는 방안으로 발전 되어야 하며, 사용자와 고객이 필요로 할 때 언제 어디서나 서비스를 사용할 수 있는 주문형 컴퓨팅 환경도 필요로 하게 된다.

## 2.3 애드혹 네트워크와 그 응용

센서 네트워크에서의 주요 이슈는 기기의 소형화, 센싱 능력, 그룹관리, 안전하고 효율적인 라우팅(Routing)이다. 센서 네트워크의 표준화를 위한 것으로는 그룹관리를 위한 키관리와 안전한 라우팅을 위한 전송 프로토콜 분야가 주요 이슈가 된다.

라우팅은 상황인지(Context Aware)라는 새로운 인자가 추가되어, 소규모 컴퓨팅 환경에서 어떻게 상황인지를 할 것인지를 결정하고, 이웃의 센서 기기의 오동작을 인식할 수 있으며, 오동작을 인식한 경우 우회경로 발견을 실시간(Real-Time)으로 처리할 수 있는 소형의 프로토콜 개발을 목표로 한다.

이러한 전송 프로토콜을 갖춘 네트워크가 바로 애드혹(Ad-Hoc) 네트워크이다. 결국, 센서 네트워크는 애드혹 네트워크를 구성할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

애드혹 네트워크란 노드(Node)들에 의해 자율적으로 구성되는 기반 구조가 없는 네트워크이다[4,5]. 네트워크의 구성 및 유지를 위해 기지국이나 액세스 포인트(Access Point)와 같은 기반 네트워크 장치를 필요로 하지 않는다는 뜻이다.

애드혹 노드들은 무선 인터페이스를 사용하여 서로 통신하고, 멀티 홉 라우팅 기능에 의해 무선 인터페이스가 가지는 통신 거리상의 제약을 극복하며, 노드들의 이동이 자유롭기 때문에 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화되는 특징이 있다. 애드혹 네트워크는 완전 독립형이 될 수도 있고, 인터넷 게이트웨이를 거쳐 인터넷과 같은 기반 네트워크와 연동될 수도 있다. 응용 분야로는 긴급 구조, 긴급 회의, 전쟁터에서의 군사 네트워크 등이 있다. 예를 들어 지금까지 개발된 블루투스, 무선랜 등의 무선네트워크 기술들은 반드시 컴퓨터, PDA 같은 고급 컴퓨팅 장치를 필요로 하는데, 센서 네트워크 노드는 독자적으로 네트워크를 구성한다.

현재 이러한 성능을 만족하면서 각광받고 있는 표준은 저전력 무선 네트워크 규격인 지그비(ZigBee)이다.

이 규격은 애드혹 기반의 무선 링크 계층 기반 네트워크와 상위응용과의 관계를 기술하고 있다. 그러나 P2P(Peer-to-Peer) 프로토콜을 가지고 수많은 센서 기기들과의 통신을 완벽하게 관리한다는 것은 그 전제부터 어려움에 부딪히게 된다. 만약 센서 기기의 수를 P2P 프로토콜이 관리할 수 있는 한계수준 이하로 제한 한다면 문제를 해결할 수 있지만, 그 수보다 많은 센서 기기를 이용하는 환경이 전개 된다면, 네트워크 토폴로지에서부터 문제점을 발생하게 된다.

문제해결을 위해 몇 가지 사항을 고려하여야 한다. 먼저, 센서 네트워크의 센서노드의 수가 기존에 사용하던 애드혹 네트워크의 노드 수에 비해 수배가 될 수 있으며, 밀집되어 분포될 수 있다는 것이다. 또한, 하나의 센서 노드가 오동작을 하여도 회피경로를 통해 네트워크가 오동작을 허용할 수 있어야 하며, 이와 관련하여 네트워크 토폴로지가 수시로 변화할 수 있어야 한다. 다음으로, 센서 노드는 브로드캐스트 통신환경을 사용하며, 전력, 컴퓨팅 성능 및 기억장치가 제한 적이라는 것이다.

앞에서 언급한 내용을 고려한 애드혹 네트워크는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 유선 기반망 없이 무선이동 호스트로만 구성된다.
- 각 호스트는 라우터의 역할을 병행한다.
- 유선망을 구성하기 어렵거나 단기간 사용에 적합하다.
- 호스트의 이동에 제약이 없다.
- 네트워크 구성을 빠르게 할 수 있으며, 비용이 저렴하다.
- 긴급구조, 전쟁과 같은 위기상황, 환경감시 등에 적합하다.

이러한 특징을 갖는 애드혹 네트워크 기반의 센서네트워크는 위치 인식을 위한 활용 등 그 활용 범위가 무궁무진하다 [6]. 특히, 환경감시를 위한 원격 지 모니터링 시스템 구축에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다 [7].

이러한 점에 착안하여 본 논문에서 고려한 실험 상황을 현실적으로 비교적 저렴하게 구현 할 수 있는 식품위생 감시를 위한 원격지 모니터링 시스템으로 설정한다.

## 2.4 지그비 네트워크

현재 유비쿼터스 센서 네트워크를 구현할 수 있는 지그비 프로토콜(ZigBee Protocol)을 갖는 무선 센서 네트워크인 지그비 네트워크가 크게 각광을 받고 있다. 지그비는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 만든 저전력과 저가격을 목표로 하는 저속 근거리 개인 무선통신의 국제 표준 스펙이다. 다시 말해서, 지그비는 저전력, 저비용이 특징으로, 2.4 GHz, 868/915 MHz의 주파수 대역을 사용하는 가정용 무선 네트워크 규격으로 반경 30m 내에서 20~250 Kbps의 전송 속도를 갖는다. 하나의 무선 네트워크로는 255대의 기기를 연결할 수 있으며, 여러 개의 네트워크로 구성될 경우 최대 65,536개 네트워크를 연결할 수 있으므로 규모가 큰 프로젝트에도 활용될 수 있다[9].

따라서, 원격제어, 원격관리, 원격모니터링에 적합하고 가정자동화, 공장자동화, 산업 자동화에 활발하게 적용될 전망이다 [10].

구체적으로 버클리대에서 공개한 MICA2라는 MOTE 플랫폼을 기반으로 센서노드를 활용하여 현실적 구현이 가능한 것으로 판단된다. MICA2의 마이크로 프로세서는 ATmega128을 사용하며, 433 MHz나 915 MHz의 주파수 대역을 이용하고, 38.4 Kbps의 전송율을 갖는다. 전송거리는 100 m 까지도 가능하다. 크기는 500원짜리 동전 크기로도 가능하나 식품위생 감시를 위한 영상 카메라 등의 부가 시스템을 고려한다면 다소 부피가 커질 수도 있다.

이렇게 구체적인 플랫폼이 있으므로, 국내에서도 이 플랫폼에 관한 응용이 활발히 이루어지고 있으며 [11]~[12], 본 논문의 실험장치 구성에 있어서도



센서노드 구현에는 전혀 문제가 없다.

### 2.4.1 지그비 연합

지그비 연합(ZigBee Alliance)[13]의 프로모터는 미쓰비시, 모토롤라, 하니웰, 필립스, TI 등이며 국내 기업으로는 삼성이 프로모터로 되어 있다. 참여기업으로는 ATMEL, NEC, 마이크로칩을 위시하여 많은 업체가 참여하고 있으며, 국내에서는 LG, 한국전자통신연구원, 전자부품연구원 등 유수기관이 참여하고 있다. 지그비 연합은 2003년 완성된 IEEE 802.15.4 표준[14]을 기반으로 저전력 무선 네트워킹이 가능한 모니터링 및 제어제품을 위해 상위 프로토콜 표준을 정의하는 것을 목표로 한다.

지그비 연합에서는 IEEE 802.15.4의 물리적 규격을 기반으로 하여 보안, 네트워크 계층, 응용 하위계층, 마케팅 그리고 세부 프로파일에 대한 표준화 작업이 진행되고 있다.



### 2.4.2 지그비 구조

지그비는 단순 기능이 요구되는 초소형, 저전력, 저가격 시장에 적합한 기술로 우선 홈오토메이션과 같은 홈네트워크 분야에 적용시키는 것을 목적으로 한다. 지그비 연합은 이러한 목적의 지그비 네트워크를 구성하기 위해 네트워크 계층, 응용지원 부계층(Application Support Sublayer), 응용 프레임워크(Application Framework), 보안 계층, 지그비 기기 객체(ZigBee Device Object) 등에 대한 표준화를 진행하여, 2005년 6월 지그비 표준 1.0 버전을 공개하였다.

지그비 스택은 OSI 7계층 모델을 기반으로 계층적 구조를 가지고 있으며, IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 네트워크 계층에서 응용 계층까지 모든 계층을 정의하고 있다.

지그비의 계층적 구조는 논리적으로 명확히 구분되어 있다. 우선 네트워크

계층에서는 노드들이 네트워크에 접속하고 접속을 끊는 메커니즘과 보안이 적용된 데이터 프레임, 그리고 원하는 목적지까지 데이터 프레임을 전송하기 위해 경로를 찾는 라우팅 알고리즘과 프레임 전달 메커니즘 등이 정의되어 있다. 응용 지원부 계층에서는 2개의 서로 간의 장치를 연결하기 위한 바인딩 테이블 관리와 바인딩된 장치간에 메시지를 전송하기 위한 메커니즘이 정의되어 있다. 지그비 기기 객체에는 네트워크에서 각 장치의 역할에 대한 정의와 바인딩에 대한 초기화 및 바인딩이 되는 과정, 그리고 네트워크 장치 간의 보안과 장치들이 제공하는 서비스를 발견하는 방법 등이 정의되어 있다.

IEEE 802.15.4 표준에서는 사용되는 장치를 FFD(Full Function Device)와 RFD(Reduce Function Device)로 분류하는데 반해 지그비 네트워크에서는 이를 기능적인 측면에서 세분화하여 지그비 코디네이터, 지그비 라우터, 그리고 지그비 단말장치의 3가지로 구분하고 있다.

지그비 코디네이터는 FFD만이 될 수 있으며, 하나의 지그비 네트워크 내에서 하나의 지그비 코디네이터가 필요하고 네트워크 정보를 초기화 하거나 다른 장치들을 관리하는 중심역할을 한다. 지그비 라우터는 코디네이터와 마찬가지로 FFD만이 될 수 있으며, 하나의 지그비 네트워크 내에서 멀티 홉 라우팅을 위해 여러 개의 지그비 라우터가 존재할 수 있다. 지그비 단말장치는 RFD로서, 직접적인 네트워크 라우팅에는 참여하지 않지만 지그비 코디네이터 또는 이미 네트워크에 형성된 지그비 라우터를 통해 네트워크에 참여할 수 있다. 하나의 네트워크 내에 여러 개의 지그비 단말장치가 존재할 수 있지만 오직 하나의 FFD와 연결이 가능하다. 하나의 지그비 단말장치는 하나의 지그비 코디네이터 또는 하나의 지그비 라우터와 네트워크를 형성하고 통신함으로써 불필요한 기능을 줄일 수 있고 지그비 코디네이터의 비콘 모드 사용을 통해 상당한 절전 효과를 가져 올 수 있다.

### 2.4.3 지그비의 무선 전파 특성

지그비에서 대표적으로 사용하는 주파수는 2.4 GHz 대역으로서, 다른 무선 기기들이 사용하는 대역보다는 다소 높은 주파수 대역이며, 높은 대역 주파수를 갖는 전파 특성상 보다 낮은 주파수를 갖는 전파에 비해 직접파와 반사파에 의존하며 회절에 의한 전파 전송이 잘 안 된다. 다음 표 1.1은 2.4 GHz 대역의 지그비 모듈에 대한 RF 규격이다 [10].

표 1.1 2.4 GHz 대역의 지그비 모듈의 규격

Table 1.1 Specification of ZigBee Module at 2.4 GHz Band

| 구 분      | 규 격             |
|----------|-----------------|
| 변조방식     | DSSS/O-QPSK     |
| 사용주파수    | 2400~2483.5 MHz |
| 최대 송신 속도 | 250 kbps        |
| 최대 출력 파워 | 10 dBm          |
| 최저 수신 감도 | -94 dBm         |
| 채널 수     | 16              |
| 채널 간격    | 5MHz            |

일반적으로 지그비 출력은 0 dBm이며, 전파법규상 최대 10 dBm까지 증폭이 가능하다.

자유공간에서 지그비의 무선파에 대한 전파(Propagation) 특성을 확인하기 위해 거리별 수신 레벨과 패킷 에러율(PER, Packet Error Rate)을 측정해 보면 송신 지점에서 200 m 떨어진 지점까지는 패킷 에러율이 0%이며, 평균 수신 레벨은 -92 dBm이다. 200 m 이후 지점부터의 수신 레벨의 감소폭은 작아 지나 패킷 에러율이 급상승한다.

가정 내의 무선 전송 환경은 자유공간과는 달리 무선 전송을 방해하는 여러 가지 장애물들로 가득하다. 일반적으로 내부 벽의 투과 손실은 10 ~ 30 dB이다. 다만, 벽의 종류, 두께, 콘크리트 내부 철재의 구조, 전파의 입사각 등에 의해 투과 손실이 크게 달라질 수 있으며, 같은 구조의 집이라 하더라도 무선전

송 환경은 각각 다르다. 따라서 지그비 전용 패킷 톨과 같은 전파 환경 측정 장치를 사용하는 것이 바람직하며, 문의 개폐와 가구 등의 재배치로 인한 전파 환경 변화 등을 고려하여 설계시 여분을 줌으로써 네트워크의 안정성을 확보하여야 한다.

지금까지 유비쿼터스에 관한 개념, 응용 범위 및 기술 동향, 그리고 현재 유비쿼터스 센서 네트워크의 하나의 표준으로 자리매김하고 있는 지그비에 관하여 살펴보았다.

다음 장에서는 이 지그비 네트워크 환경에서 영상을 전송하기 위해 디지털 영상 잡음제거 및 압축에 필요한 웨이브렛 변환에 관하여 알아보도록 한다.



## 제3장 웨이브렛 변환과 영상처리

### 3.1 웨이브렛 변환 개요

1950년대 후반부터 푸리에 변환이 디지털 신호처리의 주축이 되어 오다가 최근에 웨이블렛 변환(WT, Wavelet Transform) 방법이 대두되어 폭넓게 적용되고 있으며, 특히 웨이브렛 변환을 이용한 영상의 압축 및 전송 등의 영상 신호 처리에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다[16]~[18]. 또한, 웨이브렛 패킷은 기존 웨이브렛 보다 다양하고 유연한 시간-주파수 분석 영역을 갖고 있어 음성신호나 지문영상과 같은 고주파 진동 파형을 갖는 신호·영상의 압축 및 잡음제거에 효율적이다.

웨이브렛 변환은 1980년대 초기에 지진과 응답(Seismic Response)을 분석하기 위해 "Ondelette"라는 이름으로 Morlet에 의해 소개되었다[27]. 그 후, Grossman에 의해 이 변환은 순수한 수학적 모델로서 다루어져 직교 웨이브렛(Orthogonal Wavelet)으로 탄생하였고[28], 1987년 Mallat는 Croissor 등의 구적법 거울 여파(QMF, Quadrature Mirror Filter)[29], Burt 등의 피라미드(Pyramid) 알고리즘[30], Stromberg의 직교 웨이브렛 등이 공통적인 특징을 가지고 있다는 것을 확인하고, 다중해상도 분석(Multi-Resolution Analysis)이라는 개념을 소개하여 구체적인 웨이브렛 구축방법과, 신호·영상처리에 적용할 수 있는 고속 웨이브렛 변환 알고리즘을 제시하였다[31]. 결국 다중해상도 분석 이론은 신호처리로부터의 부대역 부호화(Subband Coding), 구적법 거울 여파, 피라미드 알고리즘과 같은 영상처리를 포함한 다양한 학문분야에서 전문 기술을 통합하고 단일화하는데 큰 공헌을 하였다. Mallat가 소개한 다중해상도 분석이론은 1909년 독일의 수학자 Haar[32]가 직교 함수 이론을 설명하기 위해 유한구간을 제외하고 영인(옹골받침, Compact Support) 상자함수의 척도구성(Scaling)과 천이(Translation)의 조합으로 거의 모든 신호를 재구성할 수 있

다는 이론에 기반을 둔 것이다.

이후, 1988년 Daubechies는 Mallat의 다중해상도 분석을 이용하여 옹골받침과 매끄러운 형태를 갖는 직교 웨이브렛의 존재성과 구축법을 확립하였다 [33]. 이는 옹골받침을 갖는 웨이브렛 변환이 실제 계산에서 효율적인 FIR(Finite Impulse Response) 필터로 대응되고, Harr 함수에 의해 유도되는 필터 이외에 이전까지 알려져 있지 않은 FIR 직교 필터의 존재와 필터구성 방법을 제시한 것으로 웨이브렛 변환의 실제 응용의 시발점이 되었다.

1990년대에는 다양한 웨이브렛의 일반형이 제시되었다. 1992년 Cohen 등에 의해 이중직교 웨이브렛(Biorthogonal Wavelet)[34], Coifman 등에 의해 웨이브렛 패킷(Wavelet Packet)이 소개되었다[35].

다음 절에서는, 푸리에 변환과 이를 개선한 국소 푸리에 변환(STFT, Short Time Fourier Transform), 그리고 웨이브렛 변환을 차례로 소개하고 각 변환의 비교를 통하여 웨이브렛 변환의 특성을 논의하겠다.



### 3.2 푸리에 변환과 웨이브렛 변환

프랑스의 수학자인 푸리에는 1807년 논문에서 주기적으로 반복되는 모든 함수는 각각 다른 계수로 곱해진 다른 주파수의 정현파(사인 혹은 코사인 파)의 합으로 표현될 수 있다고 제한하였다. 이 합을 푸리에 급수(Fourier Series)라고 부른다. 주기적인 함수가 아니더라도 임의의 함수는 가중치 함수로 곱해진 다른 주파수의 정현파(사인 혹은 코사인 파)의 적분으로 나타낼 수 있다. 이것을 푸리에 변환이라 부르며, 다음 식(3.1)과 같다.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t}dt \quad (3.1)$$

푸리에 변환은 신호의 주파수 특성을 파악하는데 매우 유용하다. 그러나 식 (3.1)에서 알 수 있듯이  $-\infty \sim +\infty$  구간을 계산하기 때문에, 신호 전체의 주파수 특성을 쉽게 알 수 있는 반면, 어느 특정 시점에 어떤 주파수 성분이 존재하는지를 알 수 없다는 단점을 가지고 있다. 즉, 시간에 따라 주파수가 변하는 비정상적(Non-Stationary)신호에 대해서 시간정보를 제공하지 못한다.

이처럼 연속신호의 푸리에 변환은 신호가 급격하게 변하는 부분에서, 주파수대역의 전 영역에 걸쳐 에너지 분포 효과가 나타나므로 급격한 변화 부분에 대한 정확한 발생 시점(또는 위치)을 검출하기 어렵다. 특히, 통계적 특성에 따른 영상 신호의 부호화에 푸리에 변환 또는 이와 유사한 이산 여현 변환을 이용할 경우 화질저하의 우려가 있다. 이러한 비정상적 신호의 효과적인 분석을 위해서는 신호의 급격한 변화 부분(또는 불연속 부분)과 신호의 큰 변화가 없는 평탄한 부분을 적절하게 구분하여 표현하는 것이 필요하다.

Gabor는 푸리에 기저함수(Basis Function)에 일정한 크기의 가우시안 창(Gaussian Window)을 취하여 변환을 수행하는 변환을 제시하여 이와 같은 문제를 해결하고자 하였고[36], 이러한 변환을 가보변환(Gabor's Transform) 또는 국소푸리에 변환이라 한다.

국소푸리에 변환은 기저함수가 주파수의 척도구성만을 갖는 푸리에 변환과는 달리 시간 천이와 주파수 스케일링을 동시에 갖는 기저(Basis)를 사용함으로써, 변환 결과로 시간과 주파수 정보를 동시에 표현할 수 있고 다음 식(3.2)와 같다.

$$F(\omega, x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)w(t-x)e^{-j\omega t}dt \quad (3.2)$$

식 (3.2)와 같이 국소푸리에 변환은 푸리에 변환의 기저,  $e^{-j\omega t}$ 에 창함수(Window Function),  $w(t-x)$ 를 곱한 신호를 기저함수로 사용한다. 즉,  $f(t)$ 에 시간 축으로 일정하게 이동하는 시간 창(Time Window),  $w(t-x)$

을 적용하고 푸리에 변환을 수행함으로써 신호에 대한 시간-주파수 표현(Time-Frequency Representation)을 얻을 수 있다. 따라서 시간축으로 이동하는 창함수에 의해 시간 국부성(Locality)을 확보하고 푸리에 변환하여 주파수 특성을 파악함으로써 신호의 시변 주파수(Time-Varying Frequency) 특성을 해석할 수 있다. 국소푸리에 변환에서 중요한 것은 보다 정밀한 시간-주파수 국부화(Time-Frequency Localization)를 위해 가능한 작은 면적을 갖는 창함수를 이용해야 한다. 그러나 하이젠베르크의 불확정성 원리(Uncertainty Principal)[36]에 의해 Gabor가 사용한 가우시안 창함수의 시간-주파수 창보다 작은 창을 갖는 창함수를 얻는다는 것은 불가능하기 때문에, 시간 영역의 간격을 작게 하여 해상도를 높이면 주파수 영역의 해상도는 낮아지고, 주파수 영역의 해상도를 높이면 시간영역의 해상도가 낮아지는 시간-주파수간의 상충현상(Trade Off)이 나타난다. 따라서 분석하고자 하는 신호의 특성에 따라 시간-주파수간의 해상도를 가변 적용할 수 있는 새로운 창함수를 설계해야 할 필요가 있다.

이러한 국소푸리에 변환의 단점을 보완하기 위해 "모 웨이브렛(Mother Wavelet)"이라 부르는 기저함수를 수축(Contraction)/팽창(Dilation)하여 얻어지는 기저함수들의 집합을 통해 신호를 표현하는 웨이브렛 변환이 제안되었다. 즉, 국소푸리에 변환과 같은 고정된 기저함수를 사용하는 것이 아니라 식 (3.3)과 같은 모 웨이브렛 기저함수,  $\Psi(t)$  를 수축/팽창하고 시간이동 하여 구성되는 함수,  $\Psi(t)_{a,b}$  들을 이용하여 신호를 구성하는 기저함수로 사용한다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.3)$$

식 (3.3)의  $a$  는 모 웨이브렛,  $\Psi(t)$  을 수축/팽창 시키는 척도구성 변수로 주파수축 국부화와 대응되고,  $b$  는  $\Psi(t)$  를 시간 천이시키는 변수로 시간축 국부화와 관계가 있다. 즉, 웨이브렛 기저함수를 이용한 변환은 일반적인 신호,  $f(t)$  의 저주파 성분 측정에는 팽창된 기저함수를 사용하고, 고주파 성분에는



축소된 기저함수를 이용하게 된다. 실제의 경우, 저주파 신호의 경우 짧은 영역만을 관찰해서는 분석이 어려운 반면, 고주파 신호의 경우 짧은 영역만을 관찰하여도 주파수 정보가 손상되지 않고 동시에 위치 정보를 효과적으로 얻을 수 있으므로 웨이브렛 변환이 고정 해상도를 갖는 국소푸리에 변환보다 신호해석에 보다 효율적임을 알 수 있다.

그림 3.1은 국소푸리에 변환과 웨이브렛 변환의 시간-주파수 해상도를 나타낸 것이다.

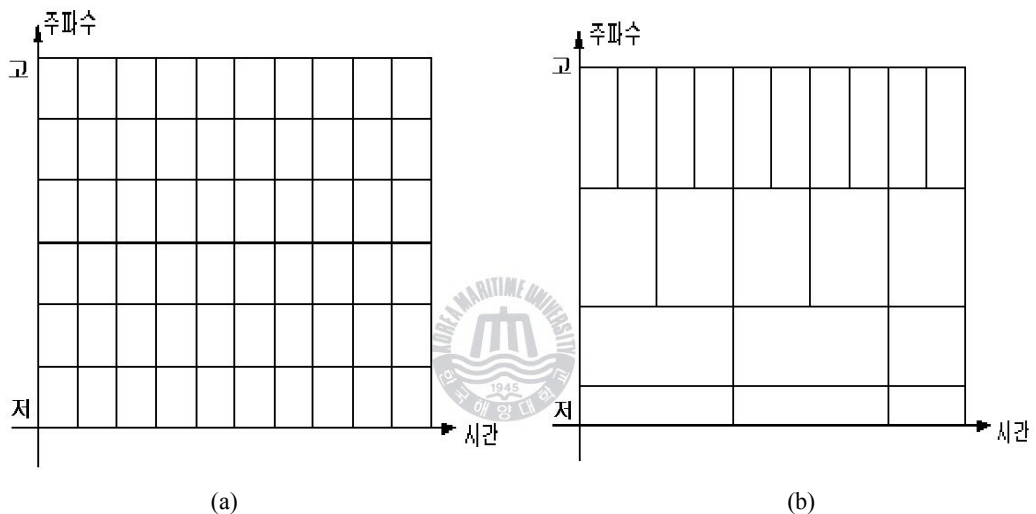


그림 3.1 국소푸리에 변환과 웨이브렛 변환의 시간-주파수 해상도

(a) 국소푸리에 변환 (b) 웨이브렛 변환

Figure 3.1 STFT and WT Time-Frequency Resolution Tile

(a) STFT (b) WT

국소푸리에 변환은 그림 3.1의 (a)와 같이 모든 시간-주파수 해상도가 일정하게 분석되는 것에 반해, 웨이브렛 변환은 그림 3.1의 (b)와 같이 저주파 측정의 경우 주파수 해상도는 높아지고 시간 해상도는 낮아진다. 고주파 측정의 경우에는 주파수 해상도는 낮아지지만 시간 해상도가 높아짐을 알 수 있다. 이처럼

럼 웨이브렛 변환에 사용되는 기저 함수,  $\Psi_{a,b}(t)$  는 일반적인 신호의 시간-주파수 특성에 맞게 변하는 가변길이 창함수의 역할을 하기 때문에 국소푸리에 변환의 고정길이 창함수보다 신호의 특성을 잘 나타 낼 수 있다.

이와 같이 웨이브렛 변환은 일반적인 비정상적 신호해석에 적합한 시간-주파수 영역에서 국부화된 가변 기저를 이용하여 신호를 재구성하기 때문에 기존의 푸리에 변환보다 효과적이다. 특히, 영상신호 처리 분야에서 인간의 시각적 특성에 맞게 부호화 할 수 있도록 신호를 몇 개의 대역으로 분해함으로써 압축 및 잡음제거에 좋은 결과를 보여주고 있고 계속해서 많은 연구가 활발히 진행되고 있다[38,39].

이제 지금까지 설명한 모 웨이브렛에 대해 척도구성과 시간천이로 얻어지는 기저함수들인 식(3.3)을 임의의 함수를 갖는 신호  $f(t)$  에 곱하여 적분해 줌으로써, 얻어지는 연속 웨이브렛 변환(CWT, Continuous Wavelet Transform) 식은 다음 식(3.4)와 같다.

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{a,b}(t) dt \quad (3.4)$$

여기서  $a$ 는 척도구성 변수이고  $b$ 는 천이 변수이다. 또한,  $\Psi(t)$  는 다음의 조건을 만족한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0 \quad (3.5)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(t)|^2 dt < \infty \quad (3.6)$$

식 (3.5)를 통해 모 웨이브렛이 지속시간이 유한한 진동함수(Finite Support Oscillating Function)임을 알 수 있고, 식 (3.6)를 통해서는  $\Psi(t)$  가 유한에너지에 갖는 신호(Finite Energy Signal)라는 것을 알 수 있다[18].

다음 그림 3.2는 식 (3.5)와 (3.6)을 만족하는 웨이브렛 함수의 예이다.

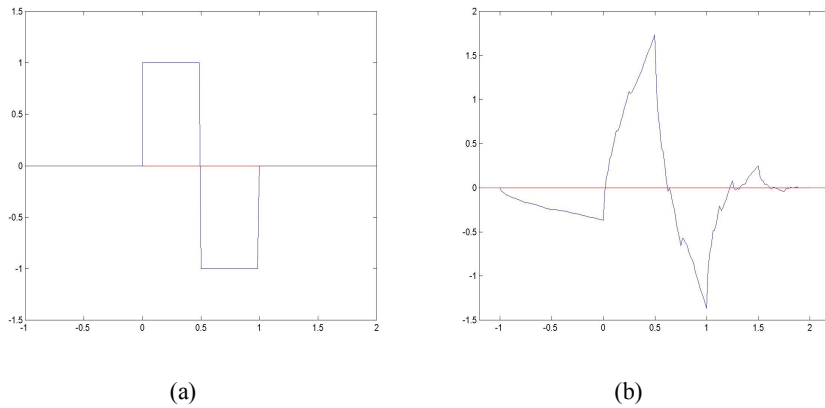


그림 3.2. 웨이브렛 함수 예

(a) Haar 웨이브렛 (b) DAUB4 웨이브렛

Fig. 3.4. Examples of Wavelet Function

(a) Haar Wavelet (b) DAUB4 Wavelet

그림 3.2에서, (a)는 Haar 웨이브렛 이고 (b)는 DAUB4 웨이브렛이다. 두 함수 모두 유한 길이를 갖으며 진동하는 것을 알 수 있다.

연속신호의 웨이브렛 변환과 역변환은 각각 식 (3.7), 식 (3.8)로 정의 된다.

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi(t) * dt \quad (3.7)$$

$$f(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|a|^2} W(a, b) \Psi_{a,b}(t) da db \quad (3.8)$$

$$\text{여기서, } C \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega, \quad 0 < C < \infty \quad (3.9)$$

식 (3.7), (3.8)의 웨이브렛 변환, 역변환 정의식에 대하여, 식 (3.9)는 허용 조건을 나타내며, 역변환이 존재하기 위한 하나의 충분조건이고, 어떤 함수 족

(Class of Functions)이 웨이브렛이 되기 위한 제약조건으로 간주된다[33].

### 3.3 다중해상도 분석과 이산 웨이브렛 변환

신호의 다중해상도 표현은,  $L^2(R)$  공간상의 신호,  $x(t)$  를 일련의 내포 부분공간(Embedded Subspace),  $V_j \subset L^2(R)$ ,  $j \in Z$  으로 투영(Projection) 시킴으로써 이루어진다. 신호,  $x(t)$  의 내포 부분공간들은 다음의 식 (3.10)~(3.13)과 같은 특성을 갖는다[31, 40].

● 포함성(Containment):

$$\cdots \subset V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \cdots \subset L^2 \quad (3.10)$$

● 완비성(Completeness):

$$\bigcap_j V_j = 0, \quad \bigcup_j V_j = L^2(R) \quad (3.11)$$

● 척도구성 특성(Scaling Property):

$$x(t) \in V_j \Leftrightarrow x(2t) \in V_{j+1}, \quad x \in L^2(R) \quad (3.12)$$

● 기저 특성(Basis Property):

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \phi(2^j t - k), \quad j, k \in Z \quad (3.13)$$

부분공간  $V_0$  의 정규직교 기저,  $\phi(t-k)$  를 생성하는  $\phi(t)$  가 존재하며, 이러한 내포 부분공간의 기저들은 식 (3.13)에서와 같이  $\phi(t)$  를 시간 천이 및 스케일의 수축/팽창을 통해 생성된다.

상기한 4가지 조건에 의해 어떤 함수의 집합이  $\phi(t-k)$ 의 하중 합 (Weighted Sum)으로 표현 될 경우, 이로써 좀 더 커다란 함수의 집합을 표현 할 수 있다. 이때,  $\phi(t)$ 를 "척도구성함수(Scaling Function)" 또는 "부 웨이 브렛(Father Wavelet)"이라고 한다. 즉,  $\phi(t-k)$ 로 표현되는 함수의 집합을  $V_0$ 라고 하고,  $\phi(2t-k)$ 로 표현되는 함수의 집합을  $V_1$ 이라고 할 경우,  $V_0 \subset V_1$ 를 만족하고 계속해서  $\phi(2^j t-k)$ 로 표현되는 함수의 집합이  $V_j$ 라고 할 경우 다음과 같은 포함(Containment)의 관계를 만족한다.

$$V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset V_3 \cdots \subset L^2 \quad (3.14)$$

여기서,  $V_j \subset V_{j+1}$ ,  $j \in \mathbb{Z}$ 이고  $V_j = \text{span}_k [\phi_{j,k}(t)]$ , 즉,  $V_j$ 는  $\phi_{j,k}(t)$ 로 생성된 부분공간이다.

이때,  $\phi(t-k)$ 은  $V_0$ 의 함수이고,  $\phi(2t-k)$ 는  $V_1$ 의 함수이므로  $\phi(2t-k)$ 로  $\phi(t-k)$ 를 식 (3.15)와 같이 표현할 수 있고, 이를 팽창방정식(Dilation Equation) 또는 다중해상도 해석 방정식(MRA Equation, Multi-Resolution Analysis Equation)이라 한다. 식 (3.15)의 관계는, 해상도가 낮은 척도함수  $\phi(t)$ 는 해상도가 높은 척도함수  $\phi(2t-k)$ 들이 저역통과 필터(Lowpass Filter)  $h(k)$ 들을 통과하여 얻어지는 것으로 설명할 수 있다.

$$\phi(t) = \sum_k h(k) \sqrt{2} \phi(2t-k) \quad (3.15)$$

신호를 높은 해상도 공간,  $V_{j+1}$ 에서 낮은 해상도 공간,  $V_j$ 로 근사화할 때, 정보의 손실이 발생하고 이를 잔류신호(Residual Signal)라고 하며, 이것은  $V_j$ 의 직교 상보 부분공간(Orthogonal Complement Subspace),  $W_j$ 상에 존

재하게 된다. 즉,  $V_{j+1}$ 의 높은 해상도 공간의 신호가 한 단계 낮은 해상도 공간,  $V_j$ 로 사영될 때 없어지는 세부정보를  $W_j$ 가 가지고 있으므로 공간  $W_j$ 를 해상도수준  $j$ 에서의 세부공간(Detail Space) 또는 웨이블릿 공간(Wavelet Space)이라 하고, 공간  $V_j$ 를 해상도수준  $j$ 에서 근사공간(Approximation Space)이라 한다.

상/하위 해상도 부분공간과 직교하는 잉여 부분공간 사이의 관계는 식 (3.16)과 같이 부분공간의 직합(Direct Sum)으로 표현된다.

$$V_{j+1} = V_j \oplus W_j, \quad V_j \perp W_j \quad (3.16)$$

이와 같은 방법으로 식 (3.14)의 관계를 다시 표현하면 다음 식(3.17)과 같다.

$$\begin{aligned} V_1 &= V_0 \oplus W_0 \\ V_2 &= V_1 \oplus W_1 \\ V_3 &= V_2 \oplus W_2 \\ &\vdots \\ L^2 &= V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus W_2 \oplus \dots \end{aligned} \quad (3.17)$$

그림 3.3은 식 (3.17)에서 나타낸 부분공간의 포함관계를 나타내는 벤다이어그램(Venn Diagram)이다.

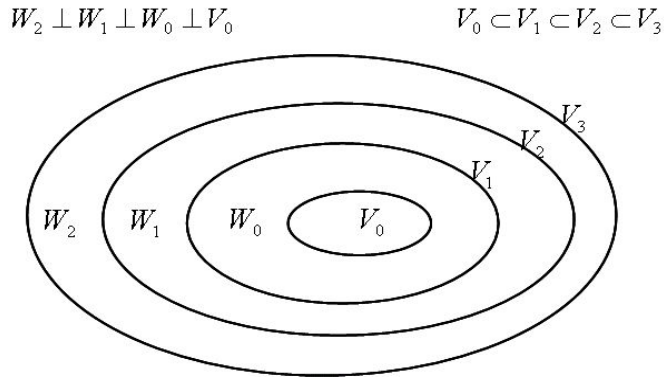


그림 3.3 근사공간과 웨이브렛 공간

Fig. 3.3 Approximation Spaces and Wavelet Spaces

식 (3.15)와 같이  $V_j$ 의 척도구성함수,  $\phi(t)$ 와 유사하게 부공간,  $W_j$ 를 구성하는 정규직교 기저가 존재하며 이를 생성하는 "모 웨이브렛,  $\Psi(t)$ "가 존재하고,  $W_j$ 역시  $V_{j+1}$ 의 부분집합이므로  $\phi(2t-k)$ 로 다음과 같이  $\Psi(t-k)$ 를 표현할 수 있다. 식 (3.18)은 웨이브렛 함수  $\Psi(t)$ 는 높은 해상도 척도 구성함수  $\phi(2t-k)$ 들이 고역통과 필터(Highpass Filter)  $g(k)$ 들을 통과하여 얻어지는 것으로 설명할 수 있다. 식 (3.18)은 식 (3.15)와 쌍대(Dual) 관계를 이룬다.

$$\Psi(t) = \sum_k g(k) \sqrt{2} \phi(2t-k) \quad (3.18)$$

또한, 집합  $V_j$ 와  $W_j$ 는 서로 직교하므로 저역통과 필터  $h(k)$ 와 고역통과 필터  $g(k)$ 는 다음을 만족한다[18].

$$g(k) = (-1)^k h(N-1-k) \quad (3.19)$$

이처럼 웨이브렛 변환은 기존의 푸리에 변환과 같이 기저함수들의 집합에 의한 신호 분석의 한 방법으로, 대상 신호를 시간과 주파수 영역에서 국부성을 갖는 웨이브렛 기저함수들의 선형결합으로 나타낼 수 있고, 식 (3.4)와 같은 연속 웨이브렛 변환을 이용해 계산 가능하다.

그러나 이와 같은 연속 웨이브렛 변환을 직접 이용하기 보다는 디지털 컴퓨터에 의해 쉽게 구현될 수 있는 효율적 형태인 이산 웨이브렛 변환( DWT, Discrete Wavelet Transform)을 사용한다.

이산 웨이브렛 변환은 다중해상도 분석을 토대로 하여 Mallat가 제시한 일종의 고속 웨이브렛 변환(Fast Wavelet Transform)이다.

식 (3.15)와 (3.18)을 이용하여 부 웨이브렛,  $\phi(t)$  와 모 웨이브렛,  $\Psi(t)$  가 결정되면, 식 (3.3)에 의해  $\Psi(t)$  를 수축/팽창 및 천이하여  $L^2(R)$  의 정규직교 웨이브렛 기저(Orthonormal Wavelet Basis),  $\Psi_{j,k}(t)$  를 구할 수 있다.  $L^2(R)$  에 존재하는 모든 신호,  $f(t)$  를 이 기저함수들을 이용하여 다음 식(3.20)과 같은 급수로 표현할 수 있다.

$$f(t) = \sum_k c_{j_0}(k) \phi_{j_0,k}(t) + \sum_k \sum_{j=j_0}^{\infty} d_j(k) \Psi_{j,k}(t) \quad (3.20)$$

식 (3.20)을 역 이산 웨이브렛 변환(IDWT, Inverse Discrete Wavelet Transform)이라 하고, 여기에 나타난 계수들의 집합,  $c_j(k)$  와  $d_j(k)$  를  $f(t)$  의 이산 웨이브렛 변환이라 한다. 이산 웨이브렛 변환은 다음과 같은 내적을 통하여 계산 할 수 있다 [18].



$$\begin{aligned}
c_j(k) &= \langle f(t), \phi_{j,k}(t) \rangle = \int f(t) \phi_{j,k}(t) \\
d_j(k) &= \langle f(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \int f(t) \psi_{j,k}(t)
\end{aligned}
\tag{3.21}$$

Mallat은 식 (3.21)의 이산 웨이브렛 변환 계수를 효과적으로 구하기 위하여 반복적인 기법을 제안하였다 [31]. 식 (3.22)는 Mallat의 알고리즘이다.

$$\begin{aligned}
c_j(k) &= \sum_m h(m-2k) c_{j+1}(m) \\
d_j(k) &= \sum_m g(m-2k) c_{j+1}(m)
\end{aligned}
\tag{3.22}$$

식 (3.22)에서 알 수 있듯이, 높은 해상도에서의 웨이브렛 계수  $c_{j+1}(k)$ 를 알면, 낮은 해상도에서의 웨이브렛 계수  $c_j(k)$ 와  $d_j(k)$ 를 단순한 필터링과 다운 샘플링(Down Sampling)을 통해 쉽게 구할 수 있음을 보였다.

$V_{j+1} = V_j \oplus W_j$ 의 관계를 이용하여,  $V_{j+1}$ 의 웨이브렛 계수  $c_{j+1}(k)$ 를 알고 있으면, 식 (3.22)에 의해서  $V_j$ 의 웨이브렛 계수  $c_j(k)$ 와  $d_j(k)$ 를 구할 수 있고, 이는 다시 식 (3.23)에 의해서  $c_{j+1}(k)$ 로 복원할 수 있다.

$$c_{j+1}(k) = \sum_m h(k-2m) c_j(m) + \sum_m g(k-2m) d_j(m) \tag{3.23}$$

만약, 해상도를 매우 높혀  $j \rightarrow \infty$  일 경우,  $\phi(t)$ 는 임펄스(Impulse)와 유사한 모양의 신호로 수렴하게 되고, 따라서 충분히 큰 해상도( $j \rightarrow \infty$ )에서 신호  $f(t)$ 의 웨이브렛 계수  $c_{j+1}(k)$ 는  $f(t)$ 를 표본화(Sampling)한 신호

와 같게 되며, 결국 식 (3.23)을 사용해서  $c_{j+1}(k)$  을 구할 필요 없이 주어진 신호의 이산 신호를  $c_{j+1}(k)$  로 바로 사용할 수 있다. 그러므로 이산 신호의 이산 웨이브렛 변환은 이미 알고 있는 필터 계수  $h(k)$  와  $g(k)$  를 이용하여 식 (3.22)와 같은 필터링을 통하여 매우 간단하게 계산할 수 있다.

또한,  $\Psi(t)$  의 조건식, 3.1절의 식 (3.5), (3.6)에 의하여 식 (3.24)의 관계가 유도된다 [18].

$$\begin{aligned}\sum_k h(k) &= 1 \\ \sum_k g(k) &= 0\end{aligned}\tag{3.24}$$

식 (3.24)를 푸리에 변환하면 식 (3.25)와 같다.

$$\begin{aligned}\sum_k h(k) e^{j\omega k} &= 1 \\ \sum_k g(k) e^{j\omega k} &= 0\end{aligned}\tag{3.25}$$

식 (3.25)에서  $h(k)$  는  $\omega = 0$  에서 1이므로 저역 통과 필터의 형태가 되고,  $g(k)$  는  $\omega = 0$  에서 0이므로 고역 통과 필터의 형태가 된다.

결국, 이산 신호의 웨이브렛 변환은 저역통과 필터  $h(k)$  와 고역통과 필터  $g(k)$  를 사용해서 식 (3.22)와 같은 이산 합성합(Discrete Convolution Sum) (또는 이산 여파)을 계산하여 변환 계수를 구해낼 수 있고, 이는 부분대역 부호화와 같은 내용이다.

### 3.4 영상신호의 웨이브렛 변환

영상압축을 위한 신호처리의 목적은 영상의 화질과 정보를 유지하면서 최소의 정보를 전송하는데 있다. 일반적으로 정지영상의 압축은 공간상의 통계적 잉여(Statistical Redundancy)를 최소화시키기 위한 방법으로, 공간상에서 구조적으로 분해되거나 특정 변환을 통해 대역별로 분해된 영상정보를 그 중요성에 따라 최적의 비트 할당을 통해 보다 좋은 압축효율을 얻는 것이다. 이와 같은 접근법의 하나로 직교 변환의 일종인 푸리에 변환이 많이 사용되고 있고, 영상 부호화의 실제 응용에서는 푸리에 변환과 유사한 이산 여현 변환이 연산의 효율성과 높은 에너지 집중 특성으로 널리 이용되고 있다[15].

영상의 웨이블릿 변환은 식 (3.22)와 같이 단순한 필터처리로 생각할 수 있다. 즉, 저역 필터  $h(k)$  와 고역 필터  $g(k)$  를 사용해서 영상의 주파수 대역을 둘로 분할하고, 이를 반복 처리하여 영상처리(압축, 잡음제거 등)에 유리하도록 몇 개의 부분대역으로 영상신호를 분할하는 것이다. 이렇게 필터를 사용해서 영상의 대역을 나누는 과정을 "웨이블릿 분해(Wavelet Decomposition)"라고 하며, 분해된 대역을 다시 합쳐 원 영상으로 재구성하는 과정을 "웨이블릿 복원(Wavelet Reconstruction)"이라 한다.

그림 3.4는 웨이블릿 변환을 이용한 분해와 복원과정을 나타낸 것이다.

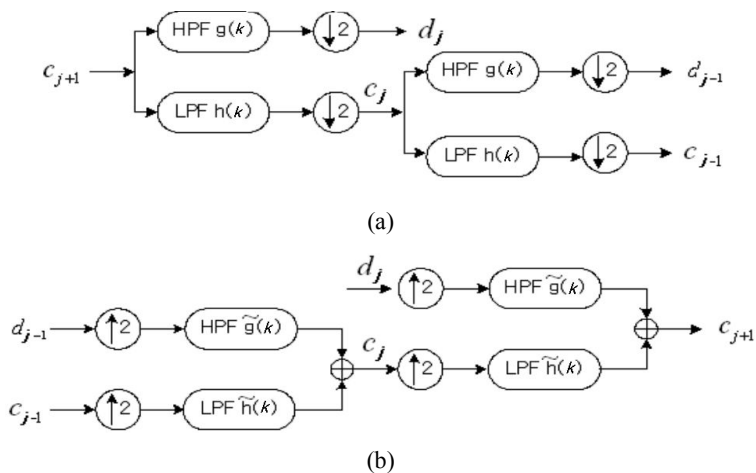


그림 3.4 웨이블릿 분해와 복원 과정

(a) 웨이브렛 분해 (b) 웨이브렛 복원

Fig. 3.4 Procedure of Wavelet Decomposition and Reconstruction

(a) Wavelet Decomposition (b) Wavelet Reconstruction

그림 3.5는 2차원 영상의 웨이브렛 분해 과정 나타내며 그림 3.6은 3-레벨 분해 된 'Lena' 영상의 예를 보여준다. 영상의 웨이브렛 분해 과정은 그림 3.5와 같이 입력 영상을 가로 방향으로 저역 통과 여파와 고역 통과 여파를 한 후, 다운 샘플링( $\downarrow 2$ )하여 저역 통과 대역(L)과 고역 통과 대역(H)으로 나눈다. 다시, 분해 된 각각의 저역 통과 대역과 고역 통과 대역에 세로 방향으로 저역 통과 여파와 고역 통과 여파를 한 후 다운 샘플링하면 분해 된 4개의 부분 대역(LL, LH, HL, HH)을 얻을 수 있고, 분해과정의 역 과정으로 원 영상을 복원할 수 있다.

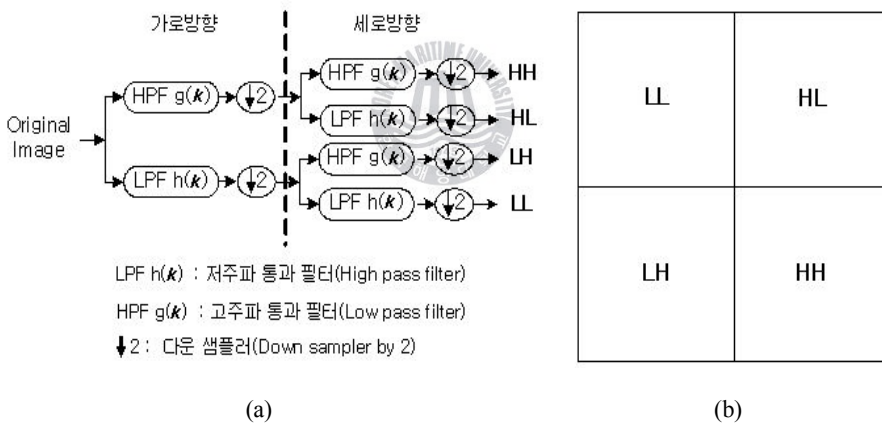


그림 3.5 2차원 영상에 대한 1-레벨 웨이브렛 분해

(a) 1-레벨 대역 분해 과정 (b) 1-레벨 대역 분해

Fig. 3.5 1 Level Wavelet Decomposition for 2 Dimensional Image

(a) Procedure of 1-Level Decomposition (b) 1-Level Decomposition

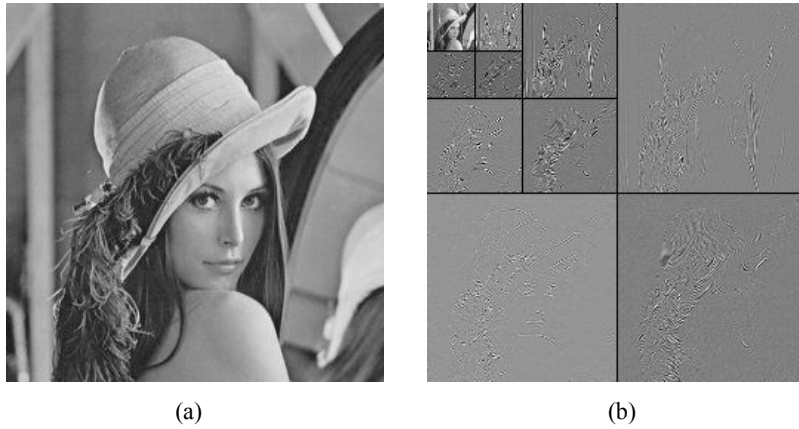


그림 3.6 Lena 영상과 3-레벨 웨이브렛 분해된 Lena 영상

(a) Lena 영상 (b) 3-레벨 분해된 Lena 영상

Fig. 3.6 Lena Image and 3-Level Wavelet Decomposed Lena Image

(a) Lena Image (b) 3-Level Decomposed Lena Image

분해된 영상은 저역 성분만을 갖는 부분대역(LL)과 방향성을 가지는 부분대역(HL, LH, HH)로 분해되는데, 각각 수직, 수평, 대각 방향의 모서리(Edge) 성분을 가지는 고역의 부분대역 영상들이 된다. 그림 3.6에서 볼 수 있듯이, 저역(LL)의 영상은 원 영상의 저역 통과 여파된 성분으로 저주파 성분들이 집중되어 있고 원 영상과 상당히 닮아 있음을 알 수 있다.

이산 웨이브렛 변환은 이와 같이 인간의 시각 구조(Human Visual System)와 비슷하게 영상을 다중 해상도로 분해할 수 있을 뿐 아니라, 영상을 국부적으로 처리할 수 있는 특징을 가지므로 영상 처리 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다[18].

이 장에서는 본 논문에서 사용되는 웨이브렛 변환에 관한 이론적인 내용을 고찰하였다. 다음 장에서는 웨이브렛 변환을 이용한 영상의 잡음제거 및 압축 방법을 제안한다.

## 제4장 개선된 문턱값 설정 방법과 디지털 영상의 잡음제거와 압축

### 4.1 디지털 영상의 잡음제거 개요

최근 유비쿼터스 사회로의 진입으로 영상 정보에 대한 다양한 요구가 증대되고 있으며, 이에 따라 유선은 물론이고 무선 네트워크를 통한 디지털 영상정보의 획득, 전송, 저장이 매우 활발하게 이루어지고 있다. 더구나 유비쿼터스 센서 네트워크라고 일컬어지는 지그비 네트워크에서의 영상전송의 활용은 원격지 영상 모니터링 시스템을 비롯하여 그 응용이 상당히 다양해 질 것으로 예상되고 있다.

그러나 영상 자료를 디지털화하거나 전송하는 과정에서 잡음 발생으로 인한 화질열화의 문제도 확대되고 있다. 이러한 문제 해결을 위해, 디지털 영상에 대한 잡음제거는 매우 중요하고 필수적인 과정이다.

디지털 영상에서 잡음의 중요한 인자는 영상획득 과정 또는 전송과정에서 발생한다. 특히 저전력 및 낮은 전송 비트율을 특징으로 하는 지그비 네트워크 환경에서는 영상획득 과정에서의 잡음과 함께 무선 전송 시 채널 상호간의 간섭, 번개 혹은 대기 불안정에 의한 잡음이 발생한다. 이러한 잡음은 주로 수학적으 로 임펄스 잡음과 가우시안 잡음으로 모델링할 수 있다.

최근 웨이블렛이 잡음제거에 있어서 효율적인 수학적 도구로 각광받으면서, 웨이블렛 변환을 이용한 디지털 영상 자료의 잡음제거에 대한 많은 방법들이 제시되고 있다[22]~[23]. 웨이블렛 변환을 이용하여 영상 잡음을 제거하는 많은 알고리즘들은 신호와 잡음을 구별하기 위해 다중해상도 분석의 특성을 이용한다. 이러한 알고리즘에서 가장 중요한 것은 잡음 성분이 많은 웨이블렛 계수와 그렇지 않은 계수로 나누는 기준인 문턱값(Threshold)을 정의하는 것이다.

1994년 Donoho와 Johnstone은 잡음 신호로부터 원 신호를 효율적으로 찾기 위해 문턱처리를 기반으로 하는 웨이브렛 수축법(Wavelet Shrinkage)을 제안하였다. 이 방법은 간단하면서도 효율적인 잡음제거 성능을 제공한다[22]~[23].

이 웨이브렛 수축법의 기본은 신호에 포함된 잡음을 추정하여 레벨을 계산하고, 그 크기에 비례하여 문턱값을 설정하는 것이다. 그러나 실제의 경우 원 신호를 알지 못하기 때문에 잡음의 양을 정확하게 추정하기 어렵다. 따라서 결과의 오차를 계산하거나 최소화하는데 문제가 발생한다. 또한, 잡음 분산의 크기가 같은 경우 영상의 통계량이 달라지더라도 동일한 문턱값을 적용하게 된다.

본 연구에서는 잡음 레벨을 계산하는 대신에 웨이브렛 계수만을 사용하여 잡음을 효율적으로 제거하는 문턱값을 찾으려고 하였다. 웨이브렛 변환된 상세대역 계수에 대해 미분 마스크 연산을 수행하여 임펄스 잡음의 위치를 찾고, 잡음에 해당하는 계수와 그렇지 않은 계수를 구분하는 2진 마스크를 생성하여 임펄스 잡음을 제거한다. 다음으로 상세대역의 대역별 중앙절대편차를 구하고 이를 각 대역의 문턱값으로 설정하여 가우시안 잡음을 제거한다. 이 방법은 영상의 통계량에 따라 중앙절대편차에 의해 가변적으로 문턱값이 정해지므로 잡음의 레벨이 같더라도 각 영상의 통계량에 따라 문턱값이 달라진다. 특히, 표준편차를 이용할 경우 값이 큰 소수의 계수들로 인하여 전체 문턱값이 커지는 문제를 해결하기 위해 중앙편차를 이용한 계수의 순서통계량을 적용하였다.

## 4.2 웨이브렛 수축법을 이용한 잡음제거

잡음이 첨가된 신호는 식 (4.1)과 같은 형태의 모델로 표현할 수 있다.

$$u = f + w \quad (4.1)$$

식 (4.1)에서  $w$  는 평균이 0이고 분산이  $\sigma^2$  인 가우시안 백색잡음 (Gaussian white noise)이며  $f$  는 유한 에너지를 갖고 있는 미지의 신호이고  $u$  는 잡음에 의해 손상된 신호이다. 잡음제거는 관찰된  $u$ 로부터  $f$ 를 복원하는 문제로 생각할 수 있다.

잡음으로 인해 식 (4.1)에서 정확한  $f$ 를 복원하는 것은 불가능하다. 따라서,  $f$ 의 추정신호 또는 근사신호  $\hat{f}$ 을 찾는 것이 합리적이다. 최적의 추정신호  $\hat{f}$ 은 식 (4.2)의 신호 대 잡음비(SNR)를 최소화함으로써 얻을 수 있다.

$$SNR := -20 \log_{10} \left( \frac{E(\|f - \hat{f}\|)}{E(\|f\|)} \right) \quad (4.2)$$

여기서,  $E(\cdot)$ 는 기대값 연산자이고,  $\frac{E(\|f - \hat{f}\|)}{E(\|f\|)}$ 은 정규화된 상대오차이다.



Donoho와 Johnstone은 주어진  $u$ 로부터 추정치  $\hat{f}$ 를 효율적으로 찾기 위해 문턱처리를 기반으로 한 웨이블릿 수축법을 개발하였다[22]~[23]. 이 방법은 간단하면서도 효율적인 복원 알고리즘을 제공한다. 그림 4.1은 Donoho가 제안한 웨이블릿 수축법의 3단계 절차를 나타낸다.



그림 4.1 웨이블릿 수축법의 처리과정

Fig. 4.1 Procedure of the Wavelet Shrinkage



그림 4.1에서 보는 바와 같이 웨이블릿 수축법의 기본 절차는 잡음 신호를 웨이블릿 변환 하고 변환 계수에 대한 문턱처리 후, 그 결과를 다시 웨이블릿 역변환하여 잡음을 제거하는 것이다.

문턱처리 과정은 그림 4.2와 같이 각 대역의 계수 절대값이 임의의 문턱값 보다 작을 경우, 잡음으로 분류하여 '0'으로 대체하는 하드 문턱처리(Hard Thresholding,  $T_{hard}$ )와 모든 변환계수 값을 문턱값 만큼 줄여주는 소프트 문턱처리(Soft Thresholding,  $T_{soft}$ )로 나눌 수 있다.

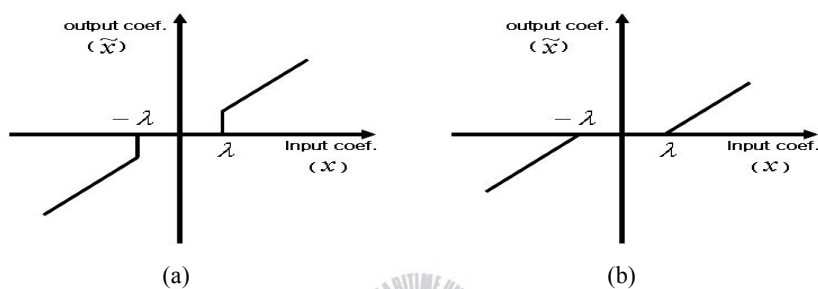


그림 4.2 웨이블릿 수축법

(a) 하드 문턱처리 (b) 소프트 문턱처리

Fig. 4.2 Wavelet Shrinkage

(a) Hard Threshold (b) Soft Threshold

그림 4.1의 웨이블릿 수축법은 다음과 같이 세 단계의 구체적인 절차로 설명할 수 있다.

**[step 1]** 잡음 신호에 대하여 이산 웨이블릿 변환을 수행한다. 여기서  $DWT(u)$ 는 이산 웨이블릿 변환이고,  $u = f + w$ 으로  $f$ 는 원신호,  $w$ 는 잡음 신호이다.

$$DWT(u) = W(u) \quad (4.3)$$

**[step 2]** 변환영역 계수들을 문턱처리하여 수축한다. 하드 문턱처리와 소프트 문턱처리의 식은 다음과 같다. 여기서  $x$  는 웨이블렛 계수이고,  $\lambda$  는 문턱값이다.

● Hard Thresholding(  $T_{hard}$  ):

$$T_{hard}(x, \lambda) = \begin{cases} x, & \text{if } |x| \geq \lambda \\ 0, & \text{if } |x| < \lambda \end{cases} \quad (4.4)$$

● Soft Thresholding(  $T_{soft}$  ):

$$T_{soft}(x, \lambda) = \begin{cases} \text{sign}(x)(|x| - \lambda), & \text{if } |x| \geq \lambda \\ 0, & \text{if } |x| < \lambda \end{cases} \quad (4.5)$$

**[step 3]** [step 2]에서 문턱처리된 계수를 식(4.6)과 같이 역변환 한다. 여기서  $\tilde{X}$  는 식 (4.4) 또는 식 (4.5)에 의해 문턱처리된 계수들이다.

$$IDWT(\tilde{X}) = W^{-1}(\tilde{X}) \quad (4.6)$$

상술한 웨이블렛 축소법에서 중요한 것은 식 (4.4)와 (4.5)에 사용한 문턱값  $\lambda$  를 결정하는 것이다. Donoho와 Johnstone이 제안한 범용 문턱값(Universal Threshold),  $\lambda = \lambda^U$  의 선택은 통계적 결과에 기반을 둔 것으로 식 (4.7)과 같이 잡음의 표준편차(또는 분산)와 관측된 신호  $u$  의 표본 크기( $N$ )에 따라 결정된다[23].

$$\lambda = \lambda^U = \sqrt{2 \ln N} \hat{\sigma} \quad (4.7)$$

여기서  $\hat{\sigma}$  는 잡음의 표준편차  $\sigma$  에 대한 추정치이고, 이를 구하기 위해

Donoho와 Johnstone은 다음 식 (3.8)과 같은 중앙절대편차를 이용한 방법을 제안하였다.

$$\hat{\sigma}_0 = \frac{MAD(|x_{k+1,j}|)_{1 \leq j \leq 2^{k+1}}}{0.6745} = \frac{Med(|x_{k+1,j} - \rho|)_{1 \leq j \leq 2^{k+1}}}{0.6745} \quad (4.8)$$

식 (3.8)의  $Med(\cdot)$ 는 중간값 연산자이고,  $\rho = Med(x_{k+1,j})_{1 \leq j \leq 2^{k+1}}$ 은 해상도 수준  $k+1$ 에서 얻어진 웨이블릿 계수의 중간값이다. 즉, 식 (4.8)과 같이 최고 해상도 웨이블릿 변환 계수의 중앙절대편차를 계산하여 잡음의 표준편차  $\hat{\sigma}_0$ 를 추정할 수 있고, 이를 식 (4.7)에 대입하여 범용 문턱값  $\lambda^U$ 를 얻을 수 있다.

범용 문턱값  $\lambda^U$ 는 하드/소프트 문턱처리 등에 무리 없이 이용될 수 있지만, 특히 데이터의 크기가 크거나 잡음의 표준편차가 과추정 되었을 때,  $\lambda^U$ 가 커지므로 잡음제거 신호  $\hat{f}$ 가 열화(Degradation) 또는 왜곡(Distortion)이 발생하는 경향이 있다. 또한, Mallat 등은  $\lambda^U$ 가  $E(\|f - \hat{f}\|)$ 을 최소화하는 최적의 문턱값이 아니라는 것을 지적하였다.

### 4.3 임펄스 잡음의 위치에 따른 적응 문턱값을 이용한 잡음제거

이 절에서는 Donoho와 Johnstone의 문턱처리(Thresholding)를 기반으로 한 범용 문턱값 방법[23]의 문제점을 개선하기 위해, 웨이블릿 계수의 공간 정보를 이용해 임펄스 잡음의 위치를 찾아내는 이진 마스크연산과 4.2절에서 소개한 문턱값 설정을 간소화하여 임펄스와 가우시안 잡음을 제거하는 방법을 제안한다.

일반적인 환경의 디지털 카메라 혹은 모니터링 시스템에서 획득된 영상에 비하여, 지그비 네트워크 환경에서는 저전력 및 낮은 비트율의 특성상 영상 획득 시 가우시안 잡음이 포함되며 이와 더불어 무선으로 전송되는 상황에서 임펄스 잡음의 유입 가능성이 높다. 가우시안 형태의 잡음은 앞 절에서 설명한 웨이브렛 수축법을 이용하여 효과적으로 제거가 가능하지만 임펄스 잡음에 대해서는 그 효과가 낮고, 인위적으로 문턱값을 높이면 모서리 정보의 손상을 초래한다.

따라서 인위적으로 고정된 문턱값을 높이는 대신에, 웨이브렛 변환으로 디지털 영상을 분해한 후, 웨이브렛 계수를 이용하여 적응 문턱값을 설정함으로써 임펄스 잡음과 가우시안 잡음을 제거하는 방법을 제안하게 되었다. 이 방법은 임펄스 잡음의 위치에 따른 적응 문턱값을 이용한 잡음제거 방법으로서, 우선, 상세대역 계수에 대해 미분 마스크 연산을 수행하여 임펄스 잡음의 위치를 찾고, 잡음에 해당하는 계수와 그렇지 않은 계수를 구분하는 2진 마스크를 생성하여 임펄스 잡음을 제거한 다음, 상세대역의 대역별 중앙절대 편차를 구하고 이를 각 대역의 문턱값으로 설정하여 가우시안 잡음을 제거하는 절차를 갖는다. 상세한 내용은 다음과 같다.

**[step 1]** 잡음 영상에 대하여 이산 웨이브렛 변환을 수행한다.

**[step 2]** 상세대역 계수( $LH, HL, HH$ )를 미분하고, 그 결과를 이용하여 임펄스 잡음의 위치를 나타내는 2진 마스크를 구해낸다.

**[step 3]** [step 2]에서 구해진 마스크와 상세대역 웨이브렛 변환 계수를 곱하여 잡음으로 손상된 계수를 제거하고, 제거된 계수는 주변 8개의 계수 중앙값으로 치환하여, 보간(Interpolation)된  $\overline{LH}, \overline{HL}, \overline{HH}$ 을 구한다.

[step 4]  $\overline{LH}$ ,  $\overline{HL}$ ,  $\overline{HH}$ 에 대해 각각의 중앙값과 중앙편차를 구하고, 이를 각 대역의 문턱값으로 설정하여 소프트 문턱처리를 한다.

[step 5] 웨이브렛 역변환을 수행하여 잡음제거된 영상을 얻는다.

그림 4.3은 제안한 5단계 처리 과정을 도식화하여 나타낸 것이다.

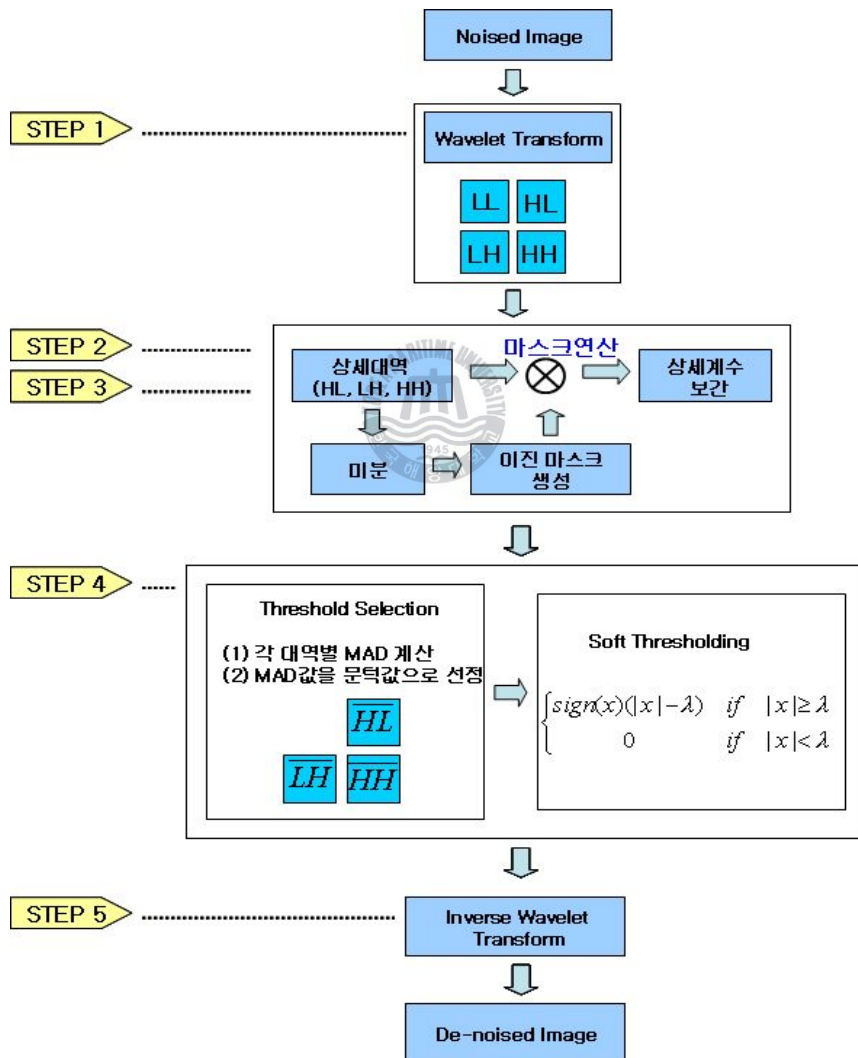


그림 4.3. 제안한 잡음제거 시스템

Fig. 4.3. Proposed Denoising System

제안한 잡음제거 시스템의 구체적 처리과정은 다음과 같다. 먼저,  $N \times N$  크기의 잡음 영상을 웨이브렛 변환하여 4개의 부분대역으로 영상정보를 분할한다. 분할된 상세대역 계수(HL, LH, HH)에 대하여 그림 4.4의 로버츠 공간 마스크(Roberts Spatial Mask)를 적용하여 그림 4.5와 같은 방법으로 미분연산을 수행한다.

로버츠 마스크는 윤곽선 검출 마스크 중 기본이 되는 마스크로, 빠른 연산 속도와 잡음에 민감하고 매우 분명한 모서리만을 검출하는 특징이 있다. 마스크의 모양은 그림 4.4와 같이  $45^\circ$  기울기를 가지고 있다.

마스크 연산은 그림 4.5의 (a)와 같이 변환 계수의 각 원소에 대하여 마스크의 동일 위치에 해당하는 원소들과 곱하고 모든 값을 더하여 마스크와 겹쳐진 계수의 중심 원소(Center of Kernel) M에 할당 시킨다. 이와 같은 연산을 그림 4.5의 (b)와 같이 가로방향으로 차례로 마스크를 이동시켜 전체 계수에 대해 수행 하고, 다시 세로 방향으로 수행하여 2차원 웨이브렛 계수의 미분결과를 얻어낸다.

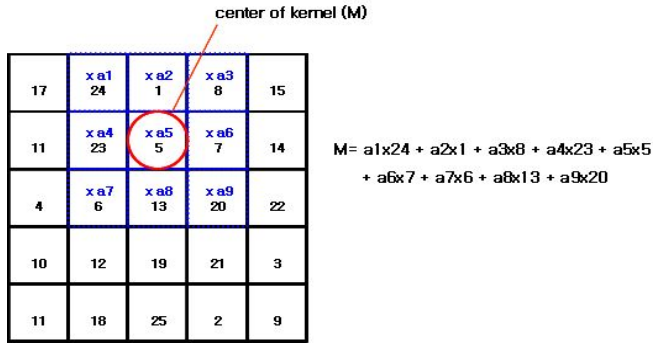
**로버트 마스크**

|   |   |    |    |   |   |
|---|---|----|----|---|---|
| 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0  | 0  | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0 |

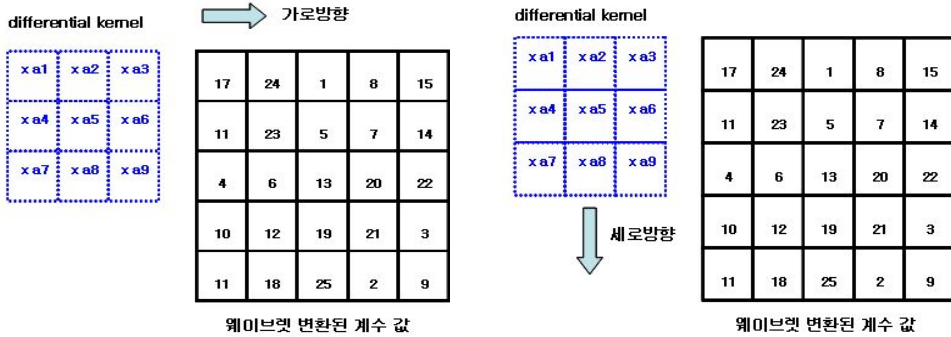
가로방향 마스크
세로방향 마스크

그림 4.4 미분 연산을 위한 로버츠 공간 마스크

Fig. 4.4 Roberts Spacial Mask for Differential Operation



(a)



(b)

그림 4.5 2차원 웨이브렛 계수의 마스킹 연산

(a) 마스크 연산 방법 (b) 2차원 웨이브렛 계수의 마스킹 연산 과정

Fig. 4.5 Masking Operation for 2-D Wavelet Coefficients

(a) Masking Method (b) Masking Procedure for 2D Wavelet Coefficients

위와 같은 방법으로 얻어진 미분된 계수  $HL'$ ,  $LH$ ,  $HH$ 에 대해 다음과 같은 문턱처리를 수행한다. 여기서  $Med(\cdot)$ 는 중앙값 연산자이다.

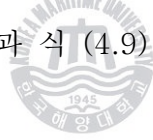
$$HL''_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } HL'_{i,j} \geq Med(HL'_{i,j}) \\ 0, & \text{if } HL'_{i,j} < Med(HL'_{i,j}) \end{cases}, \quad 1 \leq i, j \leq \frac{N}{2} \quad (4.9)$$

$$LH''_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } LH'_{i,j} \geq Med(LH'_{i,j}) \\ 0, & \text{if } LH'_{i,j} < Med(LH'_{i,j}) \end{cases}, \quad 1 \leq i, j \leq \frac{N}{2} \quad (4.10)$$

$$HH''_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } HH'_{i,j} \geq Med(HH'_{i,j}) \\ 0, & \text{if } HH'_{i,j} < Med(HH'_{i,j}) \end{cases}, \quad 1 \leq i, j \leq \frac{N}{2} \quad (4.11)$$

식 (4.9) ~ (4.11)에 의해 만들어진  $HL''$ ,  $LH'$ ,  $HH'$ 은  $128 \times 128$  크기의 2차원 데이터로 이진(Binary) 값을 가지며, 각 대역에서 급격하게 변하는 계수의 위치정보를 제공한다. 즉, '1'의 값을 갖는 곳은 급격하게 변화하는 위치이고, 이 위치에는 주로 영상의 강한 모서리성분과 임펄스 잡음 성분이 함께 포함되어 있기 때문에 이를 구분해야 한다.

그림 4.6은 임펄스 잡음에 의해 손상된 영상을 웨이브렛 변환하고, 변환된 계수에 대해 로버츠 마스크 연산과 식 (4.9) ~ (4.11)로 문턱처리한 결과를 나타낸 것이다.





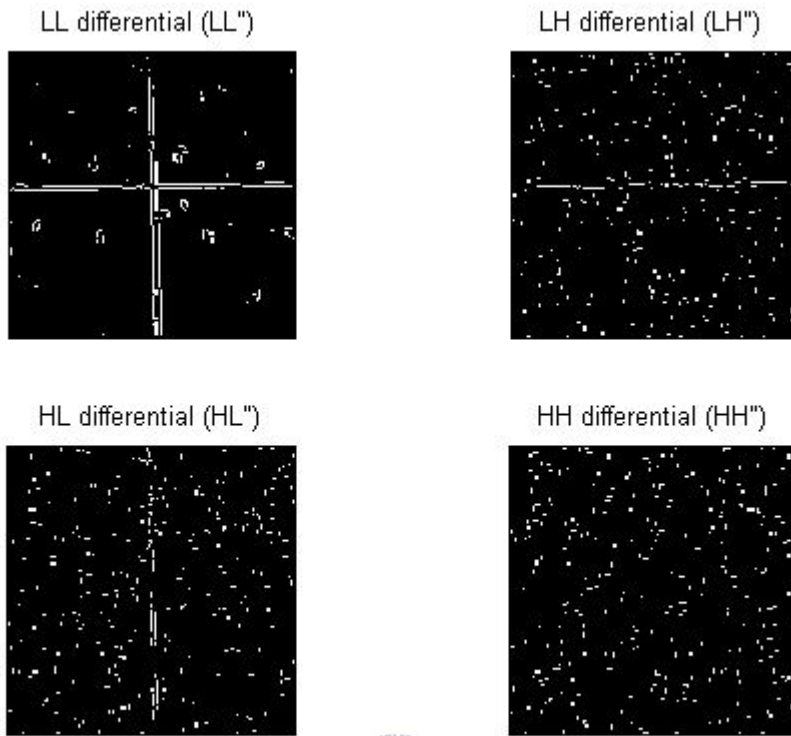


그림 4.6 웨이브렛 계수를 미분하고 문턱처리한 결과  
 Fig. 4.6 The Results of Thresholding and Differential Operation  
 for the Wavelet Coefficients

위 그림에서 흰색으로 나타나는 부분이 '1'의 값을 갖는 곳으로써 강한 모서리나 임펄스 잡음의 위치에 해당하고, 검은색으로 나타나는 부분이 '0'의 값을 갖는 곳으로 계수의 미분결과가 작은 위치이다.

본 연구에서는 식 (4.12)과 같은 기준을 통해 모서리와 잡음을 구분하는 이진 마스크를 채택한다. 즉, 웨이브렛 계수에 대하여 가로성분 대역(LH)과 세로성분 대역(HL)의 같은 위치에서 큰 미분 값을 갖거나 대각성분 대역(HH)에서 큰 미분 값을 갖는 계수를 임펄스 잡음이라 간주하고, 이에 대한위치 정보를  $Mask_{i,j}$ 에 할당한다. 식 (4.12)의  $Mask_{i,j}$ 역시  $128 \times 128$  크기의 2차원 데이터로 이진 값을 갖으며, '1'의 값을 갖는 위치가 잡음의 위치에 해당한다.

$$Mask_{i,j} = HL''_{i,j} \times LH''_{i,j} + HH'_{i,j}, \quad 1 \leq i, j \leq \frac{N}{2} \quad (4.12)$$

그림 4.7은 임펄스 잡음 영상과 식 (4.12)에 의해 얻어진 잡음 위치를 나타내는 마스크( $Mask_{i,j}$ )이다. 이 예제 그림에서 알 수 있듯이 제안한 방법을 통해 임펄스 잡음의 위치를 비교적 정확하게 찾아낼 수 있다.

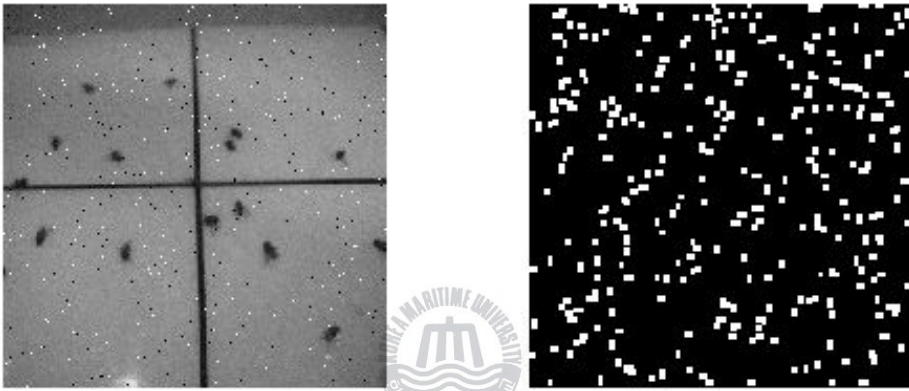


그림 4.7 임펄스 잡음 영상과 잡음 위치정보 마스크

Fig. 4.7 Impulse Noised Image and the Mask of the Noise Position Information

다음으로 식 (4.13)를 이용하여 잡음에 의해 손상된 계수를 제거하고, 제거된 계수에는 주변 계수의 평균 또는 중앙값으로 치환하여 임펄스 잡음이 제거된 상세대역 웨이브렛 계수,  $\overline{W_{i,j}}$  (or  $\overline{LH}$ ,  $\overline{HL}$ ,  $\overline{HH}$ )를 생성한다. 본 연구에서는  $3 \times 3$  공간 마스크를 이용하여 주변 계수 8개의 중앙값을 이용하여 계수를 보간(Interpolation)한다.

$$\widehat{W}_{i,j} = \overline{W_j} \times (1_{i,j} - Mask_{i,j}), \quad 1 \leq i, j \leq \frac{N}{2} \quad (4.13)$$

여기서  $1_{i,j}$ 는 모든 원소 값이 '1'인  $\frac{N}{2} \times \frac{N}{2}$  크기의 정방행렬이다.

이와 같은 방법으로 생성된 상세대역 웨이브렛 계수  $\overline{LH}$ ,  $\overline{HL}$ ,  $\overline{HH}$ 에 대해 각각 중앙절대편차를 구하고, 이를 각 대역의 문턱값으로 설정하고 앞 절에서 설명한 소프트 문턱처리를 수행하여 가우시안 잡음을 제거한다.

이 절에서는 웨이브렛 변환으로 디지털 영상을 분해한 후, 웨이브렛 계수를 이용하여 적응 문턱값을 설정함으로써 임펄스 잡음과 가우시안 잡음을 제거하는 방법을 제안하였다. 다음 절에서는 디지털 영상 압축에 관하여 살펴본다.

#### 4.4 디지털 영상 압축의 개요

일반적으로 영상정보는 자료량이 많아 저장장치에 효율적으로 저장하기 어렵고 통신 네트워크로 전달하는 데 많은 어려움이 있다. 더욱이, 저전력과 낮은 전송율을 특징으로 갖는 지그비 네트워크 환경에서 적정 화질을 유지하면서 영상을 전송하고 저장하기 위해서는 영상정보의 고효율 압축이 필연적이다.

영상압축의 목적은 영상에 존재하는 통계적 여분(Statistical Redundancy)을 제거하여 원 영상의 정보량보다 적은 정보로 영상을 재구성하는 것으로, 복원 영상의 손실 유/무에 따라 손실 압축(Lossy Compression)과 무손실 압축(Lossless Compression)으로 나눌 수 있다.

무손실 압축은 영상 화질의 손실없이 디지털 영상을 표현하는 데 필요한 자료량을 줄이는 것이다. 수학적으로는 2차원 화소 배열에서 통계학적으로 불필요한 잉여 자료를 찾아내는 과정을 포함한다. 따라서 전통적인 영상압축 기법은 영상 안에 존재하는 통계적인 여분을 제거하여 수행된다. 이러한 통계적 접근법의 예로 엔트로피 부호화 가 있다. 엔트로피 부호화(Entropy Coding)는 무손실 부호화와 같은 뜻으로, 실행 길이 부호화(Run Length Coding)와 허프만 부호화(Huffman Coding)가 대표적이다[17].

무손실 압축은 원 영상의 정보를 압축하여도 이를 완전하게 복원할 수 있는 방법이므로 압축률은 손실 압축에 비해 낮지만 원 영상의 정보를 정확하게 보존할 수 있는 장점을 가지고 있어 의료 영상과 같은 분야에 사용된다.

여분을 제거하는 것만으로는 압축할 수 있는 양이 제한된다. 더 높은 압축율을 얻기 위해서는, 여분이 아닌 정보의 일부분도 제거되어야만 하므로 손실압축을 고려하지 않을 수 없다. 손실압축은 원 영상의 정보를 완전하게 복원할 수 없지만 적당한 열화(Degradation)를 허용하면 무손실 압축에 비해 상당히 높은 압축률을 구현할 수 있기 때문이다.

통계적 부호기를 손실압축에 그대로 적용한다면, 바람직하지 않은 시각상의 화질저하를 가져온다. 왜냐하면, 영상에서 시각적으로 중요한 특징 모서리와 같은 성분에 오차가 발생하기 때문이다. 이러한 문제를 해결하려면, 인간의 시각 시스템과 유사한 영상분해 방법을 사용함으로써, 분해된 계수의 개별적인 중요성을 고려한 부호화를 수행하여 압축하여야 한다.

인간의 시각 시스템은, 눈을 통해 공간적으로 표본화된 영상을 받아들인 후, 이 영상자료를 처리하여 사물의 특징을 이끌어 내는 정보처리 시스템이다. 이때, 사물은, 모서리에 의해 경계 지워진, 같은 색 이나 같은 질감의 표면으로 만들어진 구조체로 간주할 수 있다. 사물의 색과 질감은 그 사물의 방향과 조명에 의해 큰 영향을 받는다. 따라서 일반적으로 사물을 인식하는데 있어서 가장 중요한 요소는 모서리 정보이다. 결국, 영상 압축 알고리즘의 성능을 높이자면, 모서리 왜곡을 최소화시키는 노력이 필요하다.

인간의 시각 시스템에 관한 연구에 의하면, 인간의 눈은 영상 정보를 다수개의 대역으로 여파 한다는 것이 알려져 있다 [15]~[19]. 이 대역들 각각의 주파수 폭은 거의 한 옥타브 정도이다. 더욱이, 공간 영역에서, 영상은 다수의 상이한 축척의 정보로 이루어진다고 간주된다. 이러한 사실을 근거로 하여, Marr는 영상 안에서의 명암도 변화를 야기하는 물리현상은 공간적으로 지역화 된다는 제약조건에 대한 공식을 유도하였다 [19].

실제로, 인간의 시각 시스템을 고려한 손실 압축은 화질의 열화를 줄이면서 원

영상에 충실한 고압축 영상을 구성할 수 있기 때문에 많은 응용에서 사용되고 있다[15].

본 논문은 이러한 논리에 따라 인간의 시각 체계의 특성(제한된 주파수 영역만을 볼 수 있거나 대역별로 민감도가 다른 점) 해석에 적합한 다중해상도를 갖는 웨이브렛 변환에 근거한 손실 압축을 고려한다.

일반적으로 영상압축 기법은 다음 그림 4.8과 같이 세 단계로 구성된다.

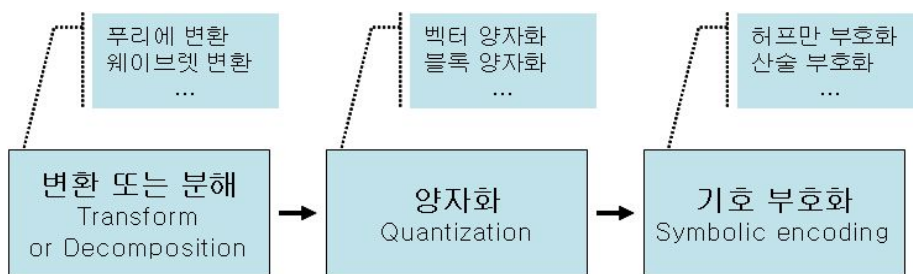


그림 4.8 영상압축 과정

Fig. 4.8 Procedure of Image Compression

그림 4.8의 첫 번째 단계인 영상의 변환(또는 분해)은 영상의 공간적 요소의 상관관계를 고려하여 중복된 정보를 최소화하거나 또는 효율적인 부호화가 가능하도록 영상정보를 재구성하는 단계이다. 이러한 변환은 3장에서 설명한 변환 과정을 통해 가능하며, 보다 효율적인 변환을 위해서는 영상의 특성에 맞는 기저(또는 이에 대응되는 분해필터)의 선택이 중요하다.

두 번째 요소인 양자화는 변환된 데이터를 적당한 양자화 레벨(Quantization level) 또는 문턱값을 통하여 정수화 하는 방법으로 원 영상의 정보량이 축소되는 본격적인 영상압축 단계이다. 특히 이 단계에서는 양자화 레벨의 정도에 따라 압축률을 조절할 수 있다.

세 번째 단계에서는 양자화 단계에서 얻은 정수 데이터를 발생 빈도수에 따라 비트할당을 효율적으로 하여(보통 엔트로피를 이용) 부호화된 심볼 데이터를 얻는다. 대표적으로 허프만 부호화(Huffman Encoding)나 산술 부호화(Arithmetic Encoding) 등이 여기에 해당된다.

## 4.5 쿼드트리 기법

### 4.5.1 쿼드트리 기법의 도입 배경

쿼드트리 분해(Quadtree Decomposition) 기법은 변환부호화보다 상대적으로 구현이 간단하고, 분해된 결과가 다양한 해상도의 부분대역 영상으로 표현되기 때문에 영상인식 및 압축과 같은 영상처리에 효과적으로 응용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 쿼드트리 기반 압축 알고리즘이 웨이브렛 변환과 같은 변환기반 알고리즘보다 압축률이 낮기 때문에, 최근에는 변환기반 알고리즘과 함께 이용하는 등의 방법으로 성능개선에 대한 연구가 진행 중이다[15].

본 논문에서도 압축 효율을 증가시키기 위해, 웨이브렛 변환을 이용하여 디지털 영상을 분해한 후, 쿼드트리 기법을 적용하는 방법을 제안한다. 웨이브렛 변환된 영상 계수에 대하여 대역별 문턱값 방법과 쿼드트리 기반 블록 양자화(QBBQ, Quadtree Based Block Quantization) 방법을 적용하여 '0'의 위치를 나타내는 128byte의 위치정보를 생성한 후, 영이 아닌 나머지 데이터들과 이 정보를 엔트로피 부호화하여 전체 데이터량을 줄이는 방법이다.

특히, 식품위생과 관련한 비래해충 포획 및 모니터링 시스템에서의 포획부 영상의 경우, 그 특성상 변환된 웨이브렛 계수는 '0'을 많이 포함하고 있어, 제안한 QBBQ 방법을 이용하면 효과적으로 데이터량을 줄일 수 있다.

### 4.5.2 쿼드트리 구조

쿼드트리 분해 방법은 영상의 다해상도 표현을 얻기 위해 사용된 고전적 기법중의 하나로써 푸리에 변환과 같은 변환부호화보다 상대적으로 간단하고, 그 결과가 다양한 해상도의 부분대역 영상으로 표현되기 때문에 인식 및 압축과 같은 영상처리에 효과적으로 응용할 수 있다.

쿼드트리 기법은 평면 영역 배열을 부호화 하는데 있어서 좋은 축약 방법이

며, 이 방법은 2차원 영상이  $N \times N$  정방형이며,  $N = 2^n$  일 때 손쉽게 적용될 수 있다.

그림 4.9의 (a)와 같이 주어진 2차원 영상을  $A$  라 하면, 이를 4등분하여 그 결과를  $A_0, A_1, A_2, A_3$  라 하고, 각각의 결과에 대해 다시 4등분하면 16개의 심볼(symbol)  $A_{00}, A_{01}, A_{02}, A_{03}, \dots, A_{30}, A_{31}, A_{32}, A_{33}$  을 생성할 수 있다. 이 과정을  $n$  번 반복하면  $2^n \times 2^n$  크기의 영상이 1개의 픽셀 단위에 이르게 된다. 이처럼 정방형 픽셀 영상을 4등분 할 때마다 분해(Decomposition) 레벨은 1, 2, ... 로 증가하고,  $2^n \times 2^n$  크기의 영상은 최대  $n$  레벨 까지 분해가 가능하다. 이때, 임의의 레벨에서 분해레벨을 증가시킬 때 (각 영역을 4등분할 때), 각각의 등분된 영역에는 0, 1, 2, 3의 아래첨자를 붙여 그림 4.9의 (b)와 같이 심볼을 할당하여 전체 영상에 대한 쿼드트리 분해를 수행할 수 있다.

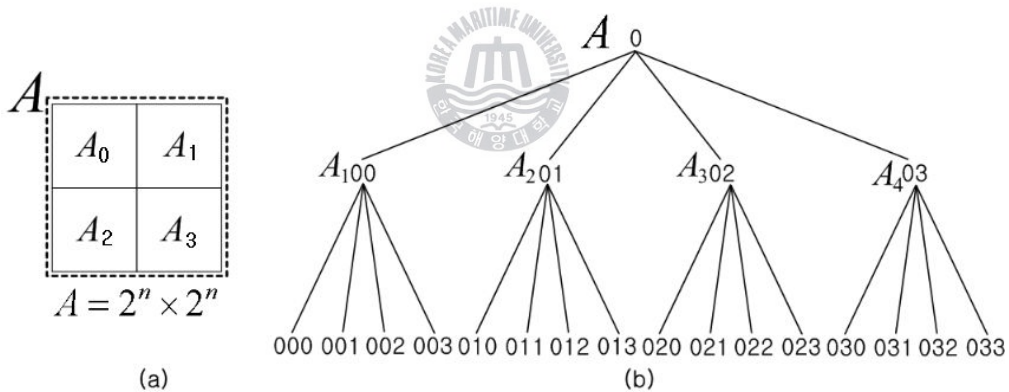


그림 4.9 쿼드트리 분해법

(a) 쿼드트리 분해 (b) 쿼드트리 구조

Fig. 4.9 Quadtree Decomposition Method

(a) Quadtree Decomposition (b) Quadtree Structure

쿼드트리 분해의 심볼 부여 원리는 그림 4.9에서 보는 바와 같이 트리 구조의 루트(Root)를  $A_0$  노드(Node)로 할당하고, 그 다음에 4등분 되는 노드에는 루트 노드의 수 0에 0, 1, 2, 3을 추가시켜  $A_{00}, A_{01}, A_{02}, A_{03}$  로 심볼을

부여하는 것이다. 예를 들어  $A_{03}$  노드로 대표되는 정방형 평면 영역을 4등분하여 생성되는 각각의 평면영역에  $A_{030}$ ,  $A_{031}$ ,  $A_{032}$ ,  $A_{033}$ 의 심볼이 부여된다. 이와 같은 방법으로 생성된 계층적 4분할 구조를 쿼드트리 구조(Quadtree Structure)라 한다. 이때 4등분 이전의 노드를 부모노드(Parent Node)라 하고 부모노드로부터 4분할되어 생성된 노드를 자식노드(Child Node)라 한다.

### 4.5.3 쿼드트리 분해과정

쿼드트리 분해과정은 하나의 영상을 구획해 나가는 방법에 따라 하향식(Top-Down Procedure)과 상향식(Bottom-Up Procedure)이 있으며, 그림 4.10과 같이 나타낼 수 있다.

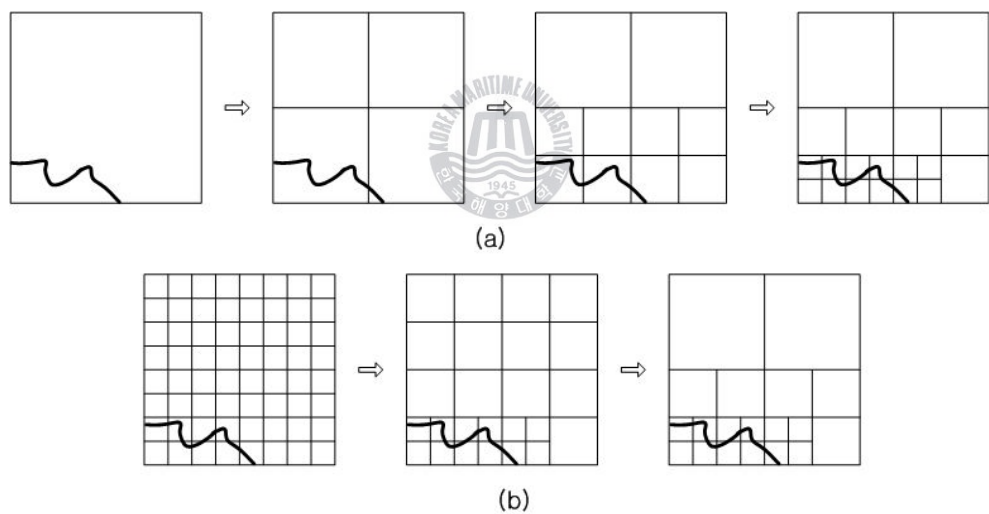


그림 4.10 쿼드트리 분해과정

(a) 상향식 과정 (b) 하향식 과정

Fig. 4.10 Quadtree Decomposition Procedures

(a) Top-Down Procedure (b) Bottom-Up Procedure

상향식은 전체의 영역이 하나의 값으로 표현될 수 있는지 먼저 판단하고, 그렇지 않으면 영역을 같은 크기가 되도록 네 개의 부분 블록(Sub-Block)으로



나눈다. 나누어진 각 부분 블록들이 다시 하나의 값으로 표현될 수 있는지 판별하는 과정을 거쳐 더 작은 부분 블록으로 나누어 가는 과정을 반복한다. 하향식은 최소 블록 크기( $1 \times 1$  블록)인 픽셀에 대해 이웃하는 픽셀들과 병합할 것인지를 판별해 나가는 방식으로 유효한 부분 블록이 동질 영역으로 판별되면, 다시 상위 영역의 블록으로 병합될 수 있는지를 판단하고 반복적으로 수행한다. 일반적으로 쿼드트리를 이용한 영상압축에서는 상향식 진행 절차가 효과적인 방법으로 알려져 있다.

영상을 쿼드트리 기법으로 분해하면 각 레벨에서 분리되는 정보를 갖는 쿼드트리 구조와 영상의 픽셀 값들인 쿼드트리 데이터가 만들어진다. 쿼드트리 구조는 0과 1의 값들로 구성되며, 0은 리프노드(Leaf Node)이고, 1은 내부노드(Internal Node)를 나타낸다. 리프노드는 현재의 레벨에서 분해가 종료되며, 내부노드는 다음 레벨에서 4개의 사분면으로 분해가 이루어지는 것을 의미한다. 쿼드트리 데이터는 각 레벨의 리프노드에 대응되는 영상의 화소 값들이다.

그림 4.11은  $2^3 \times 2^3$  크기와 분해 레벨 3을 갖는 간단한 이진영상을 무손실 쿼드트리 기법에 적용할 때 쿼드트리 구조와 쿼드트리 데이터 값이 생성되는 과정을 나타낸 것이다. 분해된 영상에 표시되는 숫자는 쿼드트리 데이터가 저장되는 순서를 나타낸다. 그림 4의 쿼드트리 표현에서 원형의 노드는 4개의 부분 블록(Sub-Block)으로 분해가 더 이루어지는 것을 의미하는 내부노드이며, 사각형의 노드는 더 이상의 분해가 이루어지지 않는 리프노드이다. 이때, 그림 4.4(d)의 코드와 레벨을 설명하면, 레벨 0은 전체 영상인  $2^3 \times 2^3$  이 내부노드('1')가 존재한다는 것이고, 레벨 1은 전체영상을 4등분하여  $2^2 \times 2^2$  영상으로 다시 내부노드('1')와 리프노드('0')를 구분하여 나타내면 1011로 표현한다. 이와 같은 방법으로 레벨 2를 표현하면 1100 0000 1000 표현 할 수 있게 된다. 따라서 전체적으로 나타내면 1 1011 1100 0000 1000의 17bit로  $2^3 \times 2^3$  인 영상을 간단히 나타낼 수 있게 된다.

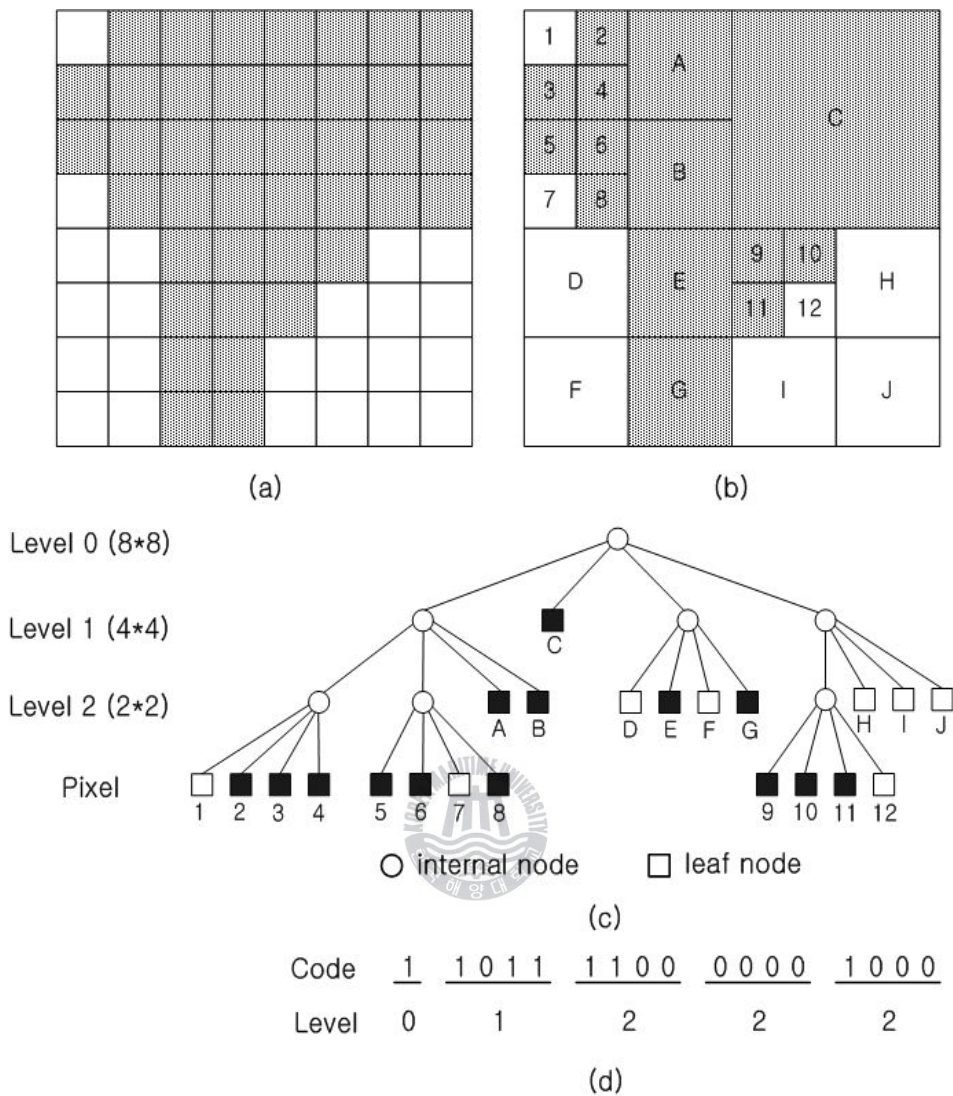


그림 4.11  $2^3 \times 2^3$  영상에 대한 쿼드트리 표현

(a) 이진영상의 예 (b) 분할된 영상 블록

(c) 쿼드트리 표현 (d) 이진 비트맵

Fig. 4.11 Quadtree Representation for a  $2^3 \times 2^3$  Image

(a) Example of a Binary Image (b) Segmented Image Block

(c) Quadtree Representation (d) Binary Bitmap

## 4.6 웨이브렛 변환 기반의 쿼드트리 영상압축 시스템

이 절에서는 4.4절과 4.5절에서 살펴본 웨이브렛 변환과 쿼드트리 기법을 이용하여 디지털 영상에 대한 압축방법을 제시한다. 앞 절에서 논의한 바와 같이, 모니터링 시스템에서의 포획부 영상은 그 영상 특성으로 인해 웨이브렛 계수에 '0'을 많이 포함하고 있어, 이를 효과적으로 이용한다면 높은 압축이 가능하다. 적외선 영상에 대한 웨이브렛 변환 계수의 효과적인 데이터 표현을 위해 중요도에 따른 대역별 문턱값 선택 방법과 3 레벨의 쿼드트리 분해를 통해 '0'의 위치정보를 생성하고 이를 부호화 하는 쿼드트리 기반 블록양자화(QBBQ)를 도입한다.

먼저, 제안한 영상압축 기법의 성능 평가를 위해 다음과 같은 세 가지 압축 방법을 구현하고 객관적/주관적 평가를 수행한다.

- (1) 이산 여현 변환(DCT, Discrete Cosine Transform) 기법
- (2) 이산 웨이브렛 변환(DWT, Discrete Wavelet Transform) 기법
- (3) 이산 웨이브렛 변환(DWT)+쿼드트리기반 블록양자화(QBBQ) 기법

비교의 대상으로 선정한 (1) DCT 기반 영상압축은 "Baseline 시스템" 이라 하며 DCT 기반 영상압축의 기본적인 방법이고, (2) DWT 기반 영상압축은 (1)의 DCT 기반 영상압축과 동일한 부호화(Encoding) 방법을 사용하고 변환 방법만 DWT를 이용한 압축 시스템이다. 이는 부호화 방법에 따른 압축효율차이를 최소화하여, DCT와 DWT 자체만의 영상압축능력을 평가하기 위한 것이다. (3)은 제안한 영상압축 시스템으로 (2)의 방법에 QBBQ 기법을 추가한 시스템이다.

다음은 상술한 세 가지 압축 기법에 대한 전체 시스템 구성도이다.

- (1) 이산 여현 변환 기법

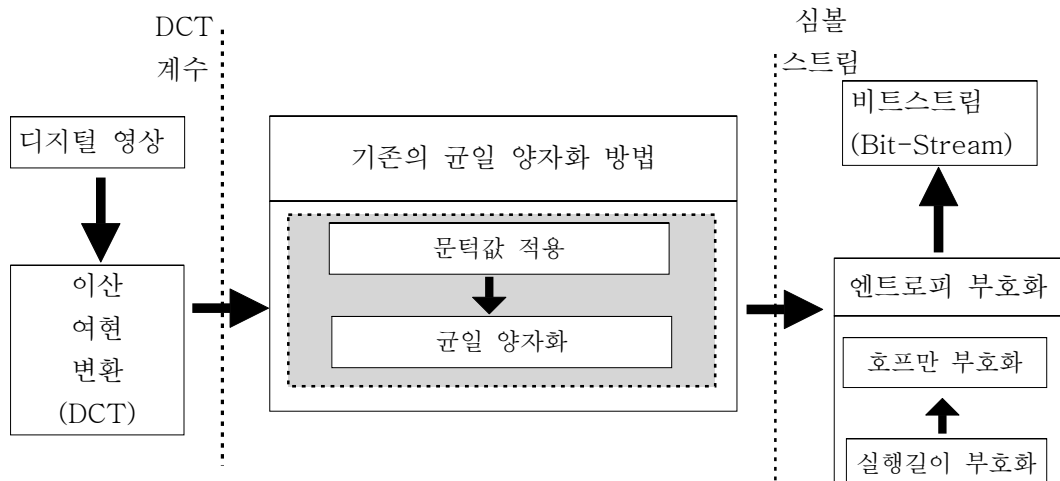


그림 4.12 이산 여현 변환

Fig. 4.12 DCT Method



## (2) 이산 웨이브렛 변환 기법

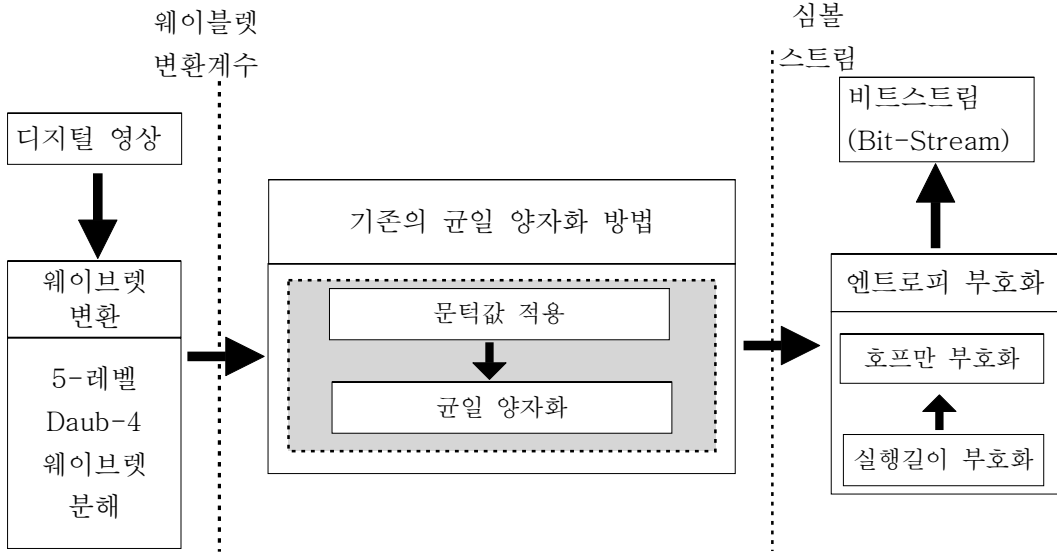


그림 4.13 DWT 기법

그림 4.13 DWT Method

## (3) 이산 웨이브렛 변환(DWT)+ 쿼드트리 기반 블록양자화(QBBQ) 기법

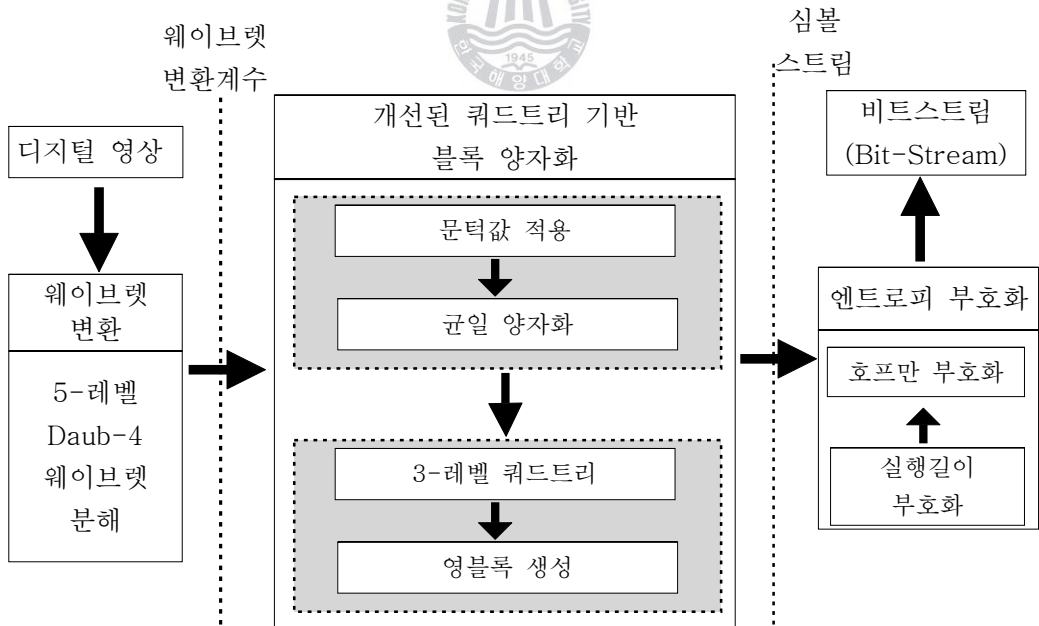


그림 4.14 제안기법

Fig. 4.14 Proposed Method

#### 4.6.1 실험영상의 이산웨이브렛변환

디지털 영상을 이산 웨이브렛 변환 단계를 통하여 여러 개의 부분대역 영상으로 분해하고, 각 부분대역에 대해 인간 시각시스템 특성을 이용한 문턱값 적용 및 양자화를 수행하면 화질 저하 현상을 줄임과 동시에 압축 효율을 개선시킬 수 있다.

본 연구에서는 'DAUB-4' 웨이브렛을 이용하여 입력된 영상의 5-레벨 변환을 구현한다. 또한, 입력된 영상의 5-레벨 웨이브렛 분해한 대역은 그림 4.15와 같이 모두 12개의 부분대역으로, 그 중에 저주파 대역인 '0' 부분대역은 4개의 부분대역으로 이루어져 있는데, 이 대역은 영상에너지가 집중되어 있는 중요한 부분이라서 하나의 단위로 지정하여 쿼드트리기반 블록양자화를 수행하였다.

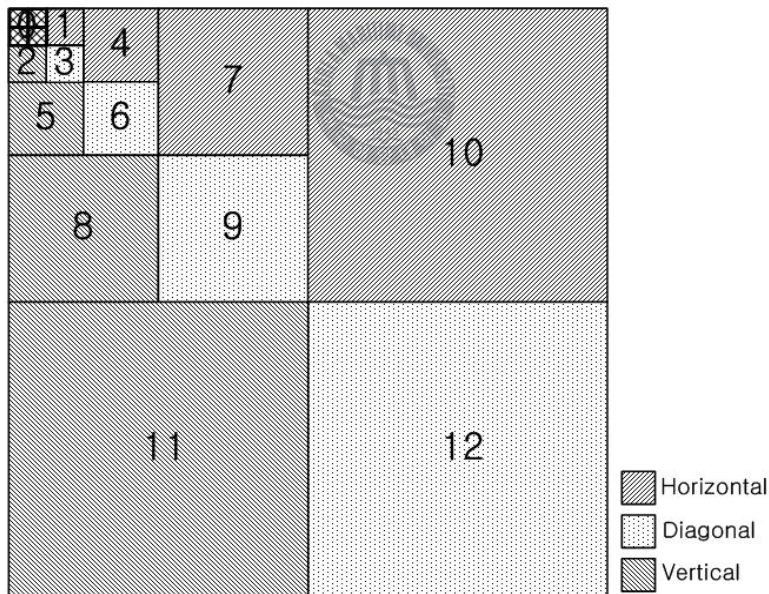


그림 4.15 5-레벨 웨이브렛 분해

Fig. 4.15 5-level Wavelet Decomposition

## 4.6.2 쿼드트리기반 블록양자화

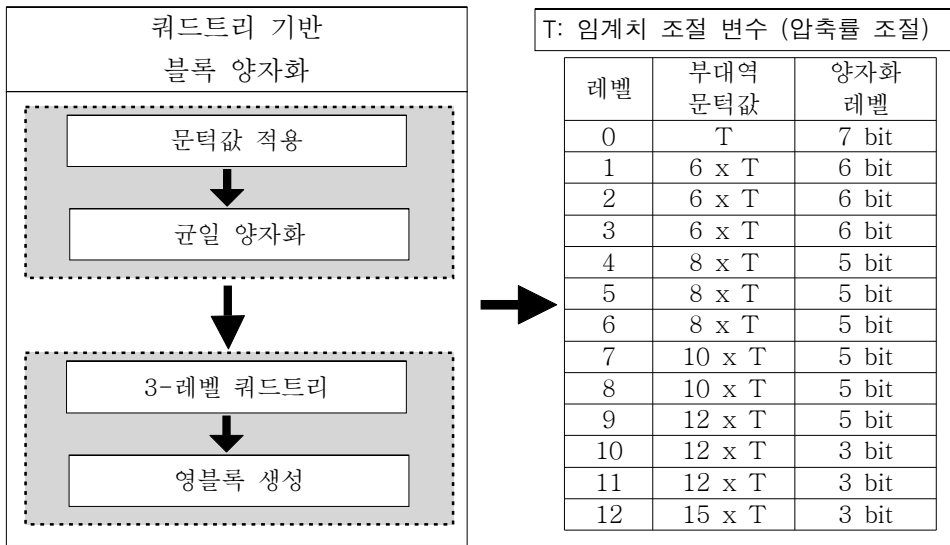
쿼드트리기반 블록양자화 단계에서는, '문턱값(Threshold) 적용', '대역별 균일양자화(Uniform Quantization)', '3-레벨 쿼드트리(3-Level Quadtree) 구성', '영블록(Zero-block) 생성'의 4가지 세부단계로 구성된다.

'문턱값 적용' 및 '대역별 균일 양자화'는 인간 시각시스템과 적외선 영상의 주파수 특성을 이용하여 결정한다. 인간 시각의 방향감응 특성은,  $0^\circ$  혹은  $90^\circ$  방향을 가진 신호에 최대 감도를 가지며 그 사이의 감도는 점차 감소하여  $45^\circ$  에서 최소가 된다. 즉, 영상의 수평이나 수직성분보다 대각선 성분에 둔감하기 때문에, 상대적으로 대각성분 부분대역에 높은 문턱값을 적용하거나 양자화 레벨을 낮추면 인간이 느끼는 화질 저하의 정도를 줄일 수 있다.

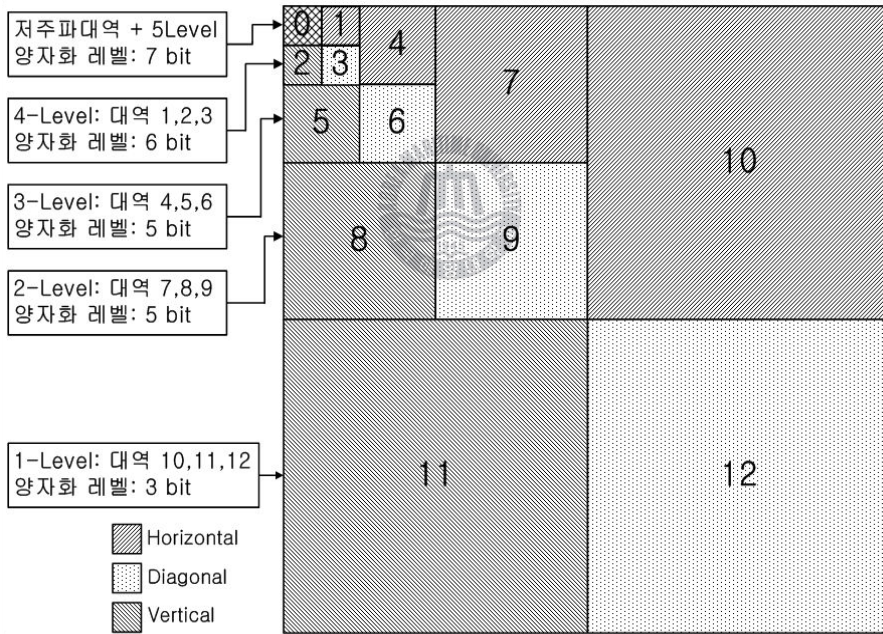
본 논문에서 사용한 대역별 문턱값과 양자화 레벨은 그림 4.16의 (a)와 같이 적용하였다. 여기서, 문턱값 조절변수, 'T' 값에 의하여 대역별 문턱값이 결정되고, 이 변수를 영상의 압축률 조절에 사용하였다. 또한 그림 4.16의 (b)는 Daub-4 웨이브렛을 사용하여 수행한, 5-레벨 분해된 부분대역별 양자화 레벨을 나타내고 있는데, 저주파 대역에 모여 있는 '0' 부분대역은 양자화 레벨을 7bit로 양자화 하고, 고주파로 갈수록 낮은 비트(bit)로 수행하여, 고주파 대역인 '10(수평방향)', '11(수직방향)', '12(대각방향)'인 부분대역에서는 3비트의 낮은 양자화 레벨을 적용하였다.

따라서, 저주파에서 고주파대역으로 지나감에 따라 '문턱값 적용'은 체증하였고, '양자화 레벨'은 체감시켰다. 그 만큼 저주파 대역에서는 영상 에너지가 많이 집중되어 있기 때문에, 중요한 웨이브렛 계수들이 많은 부분대역(저주파 대역)은 그대로 문턱값과 양자화 비트를 많이 할당하여 높은 가중치를 부여하여 수행하게 된다.





(a)



(b)

그림 4.16 대역별 문턱값 및 양자화 레벨 설정

(a) 대역별 문턱값과 양자화 레벨 표 (b) 5-레벨 웨이블릿 분해

Fig. 4.16 Subband Threshold Value and Quantization Level Setting

(a) Subband Threshold Value and Quantization Level Table

(b) 5-level Wavelet Decomposition



다음으로는 문턱값 적용과 대역별 균일 양자화(Uniform Quantization)를 통해 나온 웨이브렛 변환계수들을 3-레벨 쿼드트리 분해 과정과 영블록 생성 과정을 수행한다.

쿼드트리 분해 과정은 앞 절의 쿼드트리 분해 과정 방법 중 하향식 과정을 이용하여 실험 하였는데, 하향식은 이웃한 4개의 픽셀들의 병합 할 것인지를 판별해 나가는 방식으로 유효한 부분블록이 동질 영역으로 판별되면, 다시 상위 영역의 블록으로 병합될 수 있는지를 판단하고, 반복적으로 수행하는 과정이다.

'3-레벨 쿼드트리 구성'은 이웃한 웨이브렛 변환계수 4개를 병합하여 1비트(bit, '0' or '1') 심볼로 표현하고, 다시 이 과정을 3번 반복하여, 처음 65536 ( $256 \times 256$ ) 개의 8비트 정보를 1024 ( $32 \times 32$ ) 개의 1비트 정보로 대응시킨다. 또한, 심볼할당 방법으로는 하위 이웃한 4개의 웨이브렛 변환계수들이 모두 영이면 '0'을 할당하고, 하나라도 '0'이 아닌 값이 존재하면, '1'을 할당하는 방식을 사용한다.

그림 4.17은 3-레벨 쿼드트리의 수치 예제이다.

그림 4.17의  $8 \times 8$ 의 웨이브렛 변환계수들의 영상에서, 이웃한 4개의 계수값을 비교한다. 계수값이 하나라도 '0'이 아닌 값 존재하게 되면, 상위 레벨에 '1'이라는 심볼을 부여하는데, 예를 들어 원이 그려진 (1, 0, 208, 82)이라는 이웃한 변환계수들은 상위 레벨에서 '1'의 비트, 원이 그려진 오른쪽 옆부분 (0, 0, 0, 0)은 상위 레벨에서는 '0' 비트를 부여한다. 이런 과정으로 3-레벨 쿼드트리를 수행하면, 최상의 레벨에 '1'이라는 심볼비트가 나오게 된다.

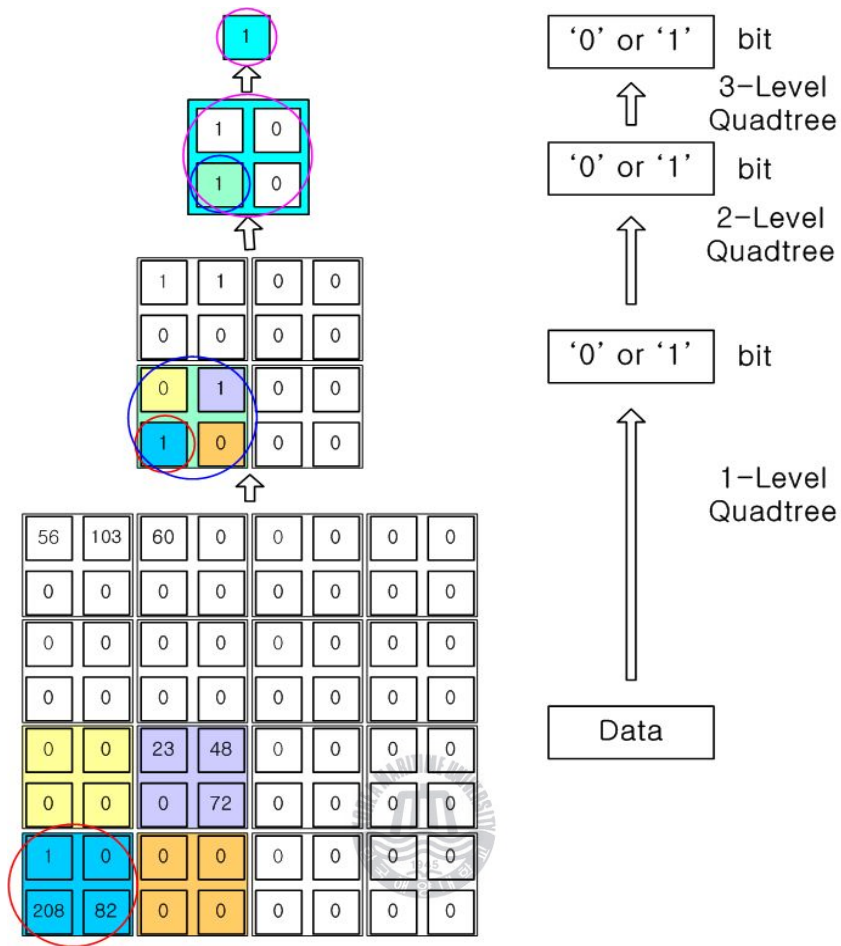


그림 4.17 3-레벨 쿼드트리 수치 예제

Fig. 4.17 Numerical Example of 3-Level Quadtree

다음 '영블록(Zero Block) 생성' 단계에서는, '3-레벨 쿼드트리 구성'으로 만들어진 1024( $32 \times 32$ )개의 1 비트 심볼들을 그림 4.18, 4.19와 같이 8개 단위로 블록을 만들어 1 Byte로 표현한다.

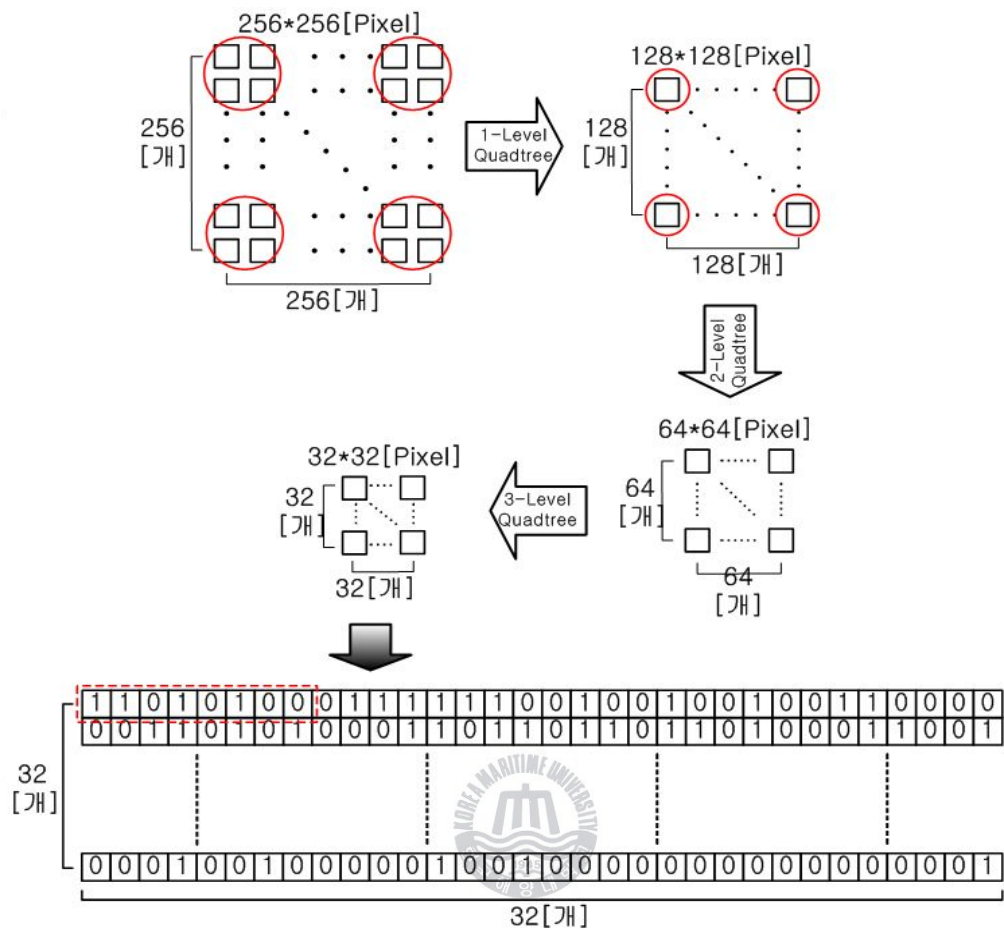


그림 4.18 '영블록 위치정보' 생성 방법 예제

Fig. 4.18 Example of Generating the 'Zero Block Position Information'

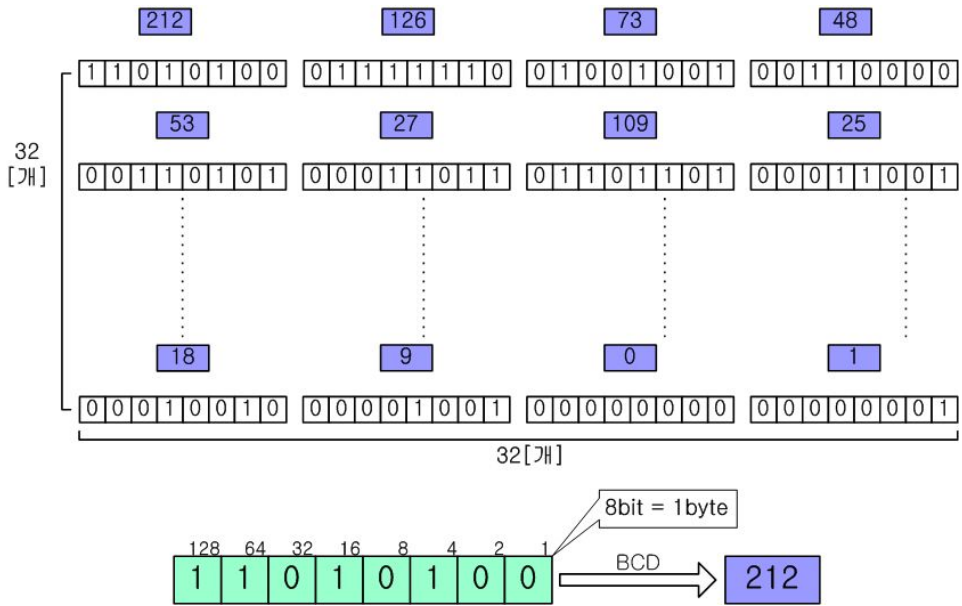


그림 4.19 '영블록 위치정보'의 십진수 표현

Figure 4.19 Decimal Number Representation of the Zero Block Position Information

위 그림의 예에서 볼 수 있듯이, 11010100(2)의 8개의 블록, 이진수를 십진수로 표현하면 212(10)으로 나타낼 수 있다. 이렇게 하면 128byte의 정보를 생성할 수 있다. 이 정보는 변환계수들의 영의 위치를 나타내는 '영블록 위치정보'이다. 영블록 위치정보를 참조하여 영이 아닌 블록들만을 엔트로피 부호화한다면, 압축되는 데이터량을 줄일 수 있다. 이는 DCT 변환을 이용한 압축시에 '지그재그 스캔(Zig-Zag Scan)'과 '실행길이부호화(Run Length Coding)'을 통한 '0'의 압축과 유사한 효과를 얻을 수 있다.

이 단계에서 영블록 위치를 생성하게 되는데, 얻어진 위치정보는 그림 4.20과 같다.

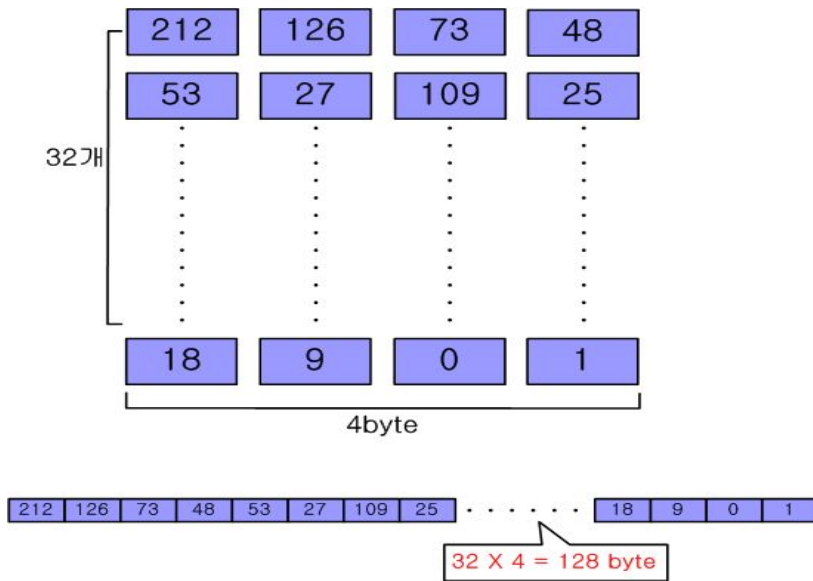


그림 4.20 영블록 위치정보 생성 결과

Fig. 4.20 Generation Result of the Zero Block Position Information

### 4.6.3 엔트로피 부호화



마지막 단계인 엔트로피 부호화에서는, QBBQ에서 생성된 128byte의 '영블록 위치정보'와 영이 아닌 블록의 데이터 값을 스캔하여 '실행길이부호화'와 '허프만 부호화'를 수행하여, 기호화 데이터열(Symbol Stream)을 만든다. 적외선 영상의 경우, 자연영상보다 영블록의 발생이 많고, 제안한 압축 기법을 적용시 압축률 향상을 기대할 수 있다.

이처럼 제안한 양자화 방법은 웨이브렛 변환 계수에 영이 많을수록 엔트로피 부호화해야 할 데이터량이 감소하고, 빈도수가 많은 심볼에 낮은 비트할당을 할수록 압축효율이 높아진다.

## 4.7 개선된 문턱치 선정에 의한 잡음제거와 영상압축의 통합

이 절에서는, 앞 절에서 제시한 잡음제거 및 영상압축 방법을 함께 적용하는 방법에 대해 논의한다. 잡음제거와 압축에 공통적으로 사용되는 문턱값 설정을 통해 제시한 두 방법을 연결하는 절차를 논의한다.

4.1~4.3절에 걸쳐 소개한 잡음제거 방법의 핵심은 임펄스 잡음 위치에 해당하는 변환 계수 값을 찾아내어 수정하고, 중앙절대편차를 이용하여 영상의 모서리와 잡음을 구분하는 문턱값을 설정하는 것으로 효과적인 잡음제거 성능을 갖는다. 4.6절에서는 웨이브렛 변환된 각 부분대역에 대하여 임의로 설정한 문턱값 처리 후, 쿼드트리 기반 블록 양자화 방법을 이용하여 '0'정보를 효과적으로 표현하는 방법에 대해 논의하였다.

이번 절에서는 잡음제거 및 영상 압축을 통합하기 위한 방법을 논의한다. 잡음을 제거한 후 압축하면 통계적 여분이 늘어나게 되어, 그 만큼 압축 효율이 좋아질 것이라는 점에 착안한 것이다. 이때 두 가지 방법에서 공통적으로 대두된 문턱치 설정에 초점을 둔다.

잡음제거된 디지털 영상을 다시 압축하기 위한 문턱값을 아래와 같은 방법으로 설정한다.

$$\begin{aligned} & \{\text{잡음제거/압축 적응 문턱값}\} \\ & = \{\text{대역별 하중}\} \times \{\text{3장의 잡음제거 적응 문턱값}\} \end{aligned}$$

모든 영상에 대해 동일한 문턱값을 적용하는 경우, 영상의 통계적 특징을 이용할 수 없기 때문에 그만큼 잡음이 포함된 영상에 대한 소극적인 잡음제거 방법이 될 수 있다. 그러나, 적절한 적응 문턱값을 이용하면 잡음제거된 영상을 보다 효과적으로 압축할 수 있을 것이다.

표 4.1은 본 절에서 제안한 압축을 위한 적응 문턱값 설정 방법과 관련된 4.3절과 4.6절의 문턱값 설정 방법을 요약 제시한 것이다.

표 4.1 잡음제거 및 압축을 위한 문턱값 설정 방법

Table 4.1 Thresholding Methods for Denoising and Compression

| 절    | 문턱값 설정 방법   |
|------|---|
| 4.3절 | {잡음제거 적응 문턱값}<br>={웨이브렛 계수의 부분 대역별 중앙절대편차}          |
| 4.6절 | {압축률 문턱값}<br>={대역별 하중} × {웨이브렛 변환 계수 문턱값}           |
| 4.8절 | {잡음제거/압축 적응 문턱값}<br>={대역별 하중} × {4.3절의 잡음제거 적응 문턱값} |

표 4.1에서 볼 수 있듯이, 이 절의 제안 방법에서는 4.6절의 압축률 문턱값의 독립변수 인 “{웨이브렛 변환 계수 문턱값}”에 4.3절에서 사용한 “{잡음제거 적응 문턱값}”을 대입하여 사용한다.

그림 4.21은, 본 논문에서 제안하는 잡음제거 및 영상압축 시스템이다.



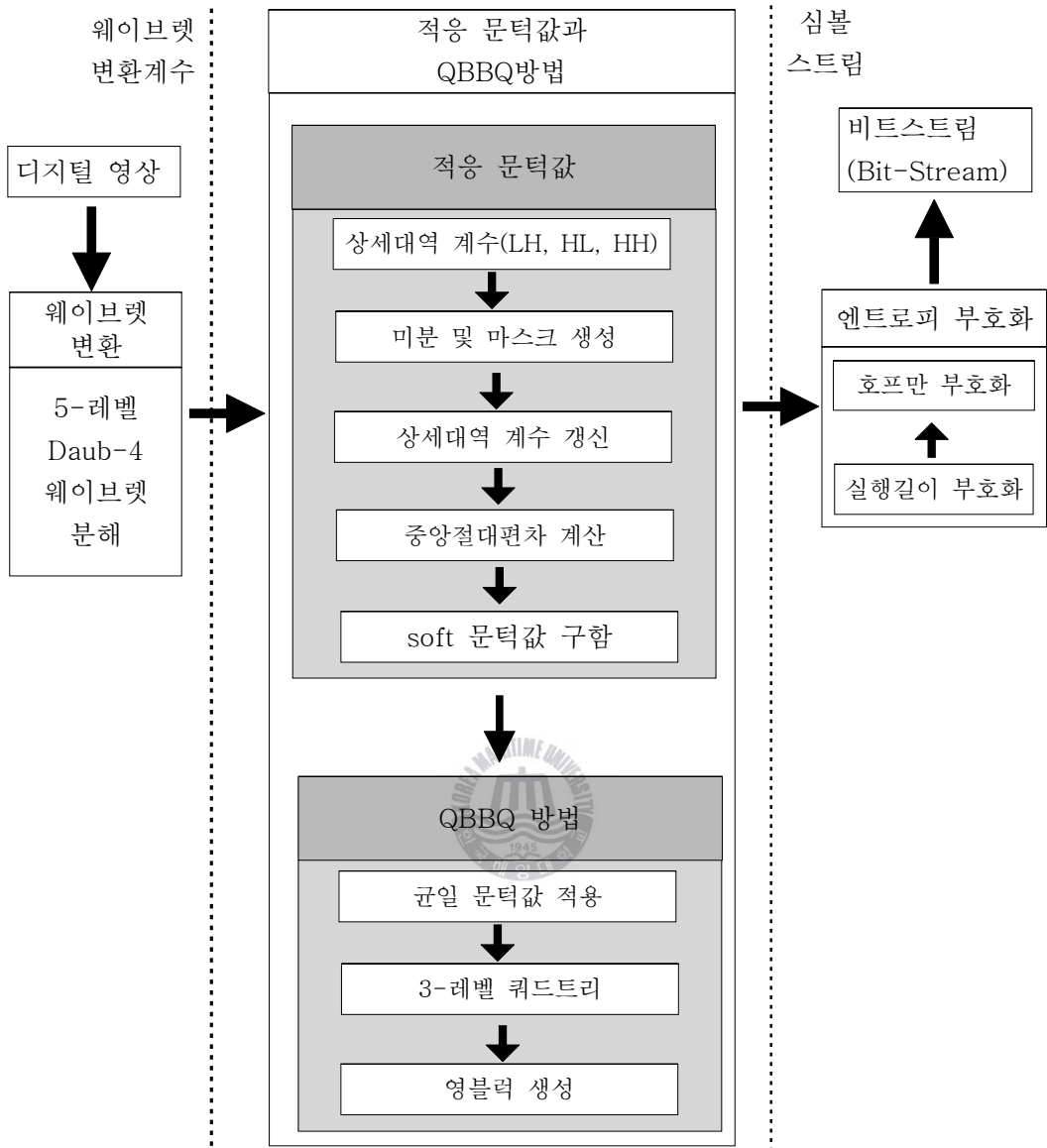


그림 4.21 제안한 잡음제거 및 영상압축 시스템

Fig. 4.21 Denoising and Image Compression of the Proposed System

그림 4.21의 시스템에는, 디지털 영상의 잡음을 제거한 후, 압축을 수행할 때, 표 2.1의 문턱값들이 단계적으로 적용된다.

그림 4.21의 제안 시스템에서 보인 바와 같이, 먼저, 디지털 영상에 대하여



5-레벨 웨이브렛 변환 후, 각 레벨의 상세 부분대역(Detail Subband) 계수에 대해 4.3절에서 제시한 방법으로 문턱값을 찾아낸다. 즉, 로버트 공간 마스크를 이용하여 임펄스 잡음의 위치를 나타내는 이진 마스크를 생성하고 이를 이용하여 웨이브렛 변환 계수 값을 수정한다. 수정된 변환 계수에 대해서 중앙절대편차를 계산하고 그 결과를 해당 대역의 문턱값으로 설정한다.

다음으로, 이렇게 설정된 문턱값을 이용하여 4.6절에서 설명한 쿼드트리 기반 블록 양자화를 수행한다. 즉, 설정된 문턱값을 기준으로 각 대역별 균일 양자화를 수행하고, 3-레벨 쿼드트리 분해하여 웨이브렛 변환 계수에 포함되어 있는 '0'의 위치 정보를 효과적으로 압축 표현한다. 또한, 보다 높은 압축률을 얻기 위해 실행길이 부호화와 허프만 부호화를 차례로 수행하여 최종적으로 압축된 영상을 얻어낸다.

## 4.8 영상 화질의 객관적 평가방법

영상 압축 정도를 나타내기 위해 화소당 비트율(BPP, Bit Per Pixel) 단위를 사용한다. 또한 압축 복원 영상과 잡음제거 영상의 화질에 대한 성능의 객관적인 평가를 위해 첨두신호 대 잡음비(PSNR, Peak Signal-to-Noise Ratio)를 사용한다. 이때, 사용된 PSNR 계산식은 다음과 같다.

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{2^n - 1}{RMSE} \quad (4.14)$$

여기서, 원 이미지와 재구성된 이미지를  $f$ 와  $g$ , 그리고 이미지의 폭(Width)과 높이(Height)를  $N$ ,  $M$  이라하면, 식 (4.14)에 사용된 RMSE(Root Mean Square Error)의 계산식은 다음과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i, j) - g(i, j)]^2}$$

(4.15)

이 장에서는 본 연구의 핵심인 웨이브렛 변환에 기초를 둔 디지털 영상의 잡음제거 및 압축 방법을 제안하였다. 다음 장에서는 제안된 방법의 타당성을 검토하기 위한 실험에 관하여 고찰한다.



## 제5장 실험 및 평가

이 장에서는, 제4장에서 제시한 잡음제거 및 영상압축 방법에 대하여 기존 방법들과 비교 실험을 진행하여 제안방법의 타당성을 검증한다.

특히, 잡음제거 문턱값을 영상압축의 대역별 압축률 조절 문턱값으로 활용 시, 압축과 동시에 효과적인 잡음제거가 가능함을 PSNR평가 및 미분영상 분석을 통해 보다 명확하게 확인할 수 있다.

### 5.1 실험구성 및 평가방법

#### 5.1.1 실험의 배경

경제가 발전함에 따라 생활수준이 점점 향상되면서, 과거 무심코 지나쳤던 해충들은 이제 모든 사람들에게 있어서 강한 경계 대상이 되고 있으나, 산업화 또는 공업화로 인해 많은 양의 쓰레기 발생과 환경오염으로 인해 해충은 점점 더 증가하는 추세에 있다. 해충이라 함은 인간 및 가축에게 해를 주는 곤충이나 동물을 총칭하는 개념이며, 특히 비래해충은 파리, 모기, 나방, 하루살이 등이 날아서 이동하는 해충을 말한다. 이런 해충들은 음식이나 식물들을 갉아 먹어 생활에 적잖은 피해를 주고 있으며, 배설물들로 인해 인체에 해로운 병원균을 옮기기도 한다. 상기 비래해충은 사람이 그 개체를 방제하는 수보다 산란하여 발생하는 수가 더 많으며 온 공간을 날아다니며 언제 어디서나 유입되므로 그 방제가 더욱 중요시되고 있고, 특히, 최근에는 환경 파괴와 인체 유해성 논란으로 독성약제(살충제) 보다는 비래해충을 제거하는 여러 기구 개발이 활발히 진행되고 있다.

그림 6.1은 비래해충 방제기구 중 가장 대표적인 비래해충 포획장치(이하 포충등)의 사시도이다. 포충등은 비래해충이 좋아하는 UV-A 자외선과 페로몬

을 이용하여 비래해충을 유인하고 포획하는 장비로 비래해충 방제에 필수적인 장비로 널리 사용되고 있다. 그러나, 상기 포충등은 유인된 비래해충을 끈끈이에 포획하는 방식으로, 끈끈이의 용량 한계와 먼지와 같은 이 물질로 인한 포획력 저하로 인해 주기적인 관리가 필요하다. 또한, 포획된 비래해충의 종류에 따라, 그 방제 방법과 시기가 달라지므로, 관리자는 포획된 비래해충의 종류와 수를 정확하게 파악하여 신속히 방제를 수행하는 것이 무엇보다 중요한 과제이다.

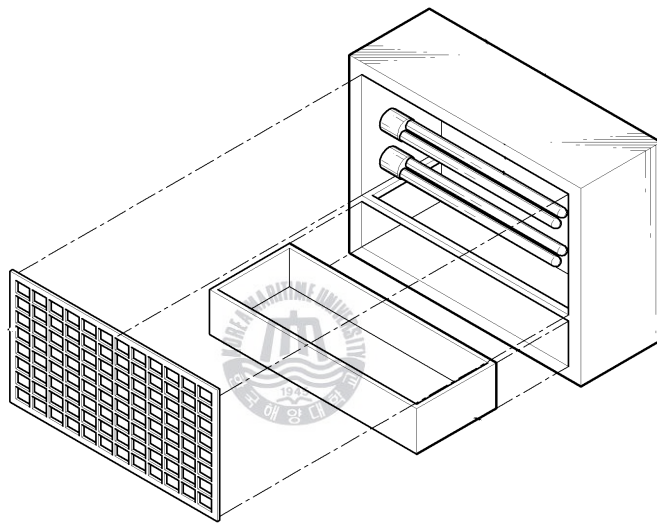


그림 5.1 비래해충 포획 장치

Fig. 5.1 Flying Insect Capturing Device

상술한 과제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 상기 포충등에서 수집된 해충 정보를 실시간으로 원격지 관제센터로 전달, 분석할 수 있는 원격모니터링 시스템 구축을 위한 기반 기술 확보에 목적을 두고 있다. 즉, 경제성 있는 무선 네트워크 기반에서 해충포획 영상정보를 실시간으로 전송하기 위한 효과적인 압축과 잡음제거 방법을 개발하는 것에 초점을 두고, 이를 검증하기 위해 5.1.2절과 같이 실험을 구성하고 그 결과를 확인하였다.

### 5.1.2 실험의 구성

비래해충 포획부의 영상 촬영을 위해 그림 5.2와 같은 시리얼 카메라와 지그비 모듈을 사용하였다. 이 모듈들은 그림 5.3과 같은 비래해충 포획장치에 탑재되어 포획부를 촬영/압축하고, 그 결과를 원격지 데이터 수집 장치에 무선으로 전달하는 역할을 한다.

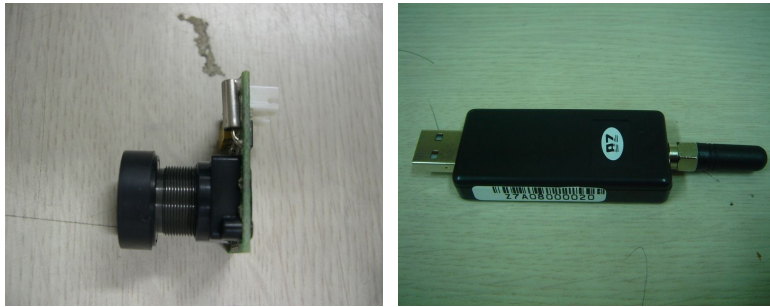


그림 5.2 카메라와 지그비 모듈

Fig. 5.2 Camera and ZigBee Module



그림 5.3 비래해충 포획 장치

Figure 5.3 Flying Insect Capturing Device

그림 5.4는 상기 카메라 모듈을 이용하여 비래해충 포획부를 촬영한 것이다. 포충등 내부는 자외선 광원으로 인한 잡음 발생, 공간적 제약에 기인하는 영상왜곡, 점착액에 의한 해충 모습 왜곡 현상 등이 발생하기 때문에 좀 더 좋

은 영상처리 결과를 얻기 위해 다양한 조건으로 테스트를 진행해야한다.

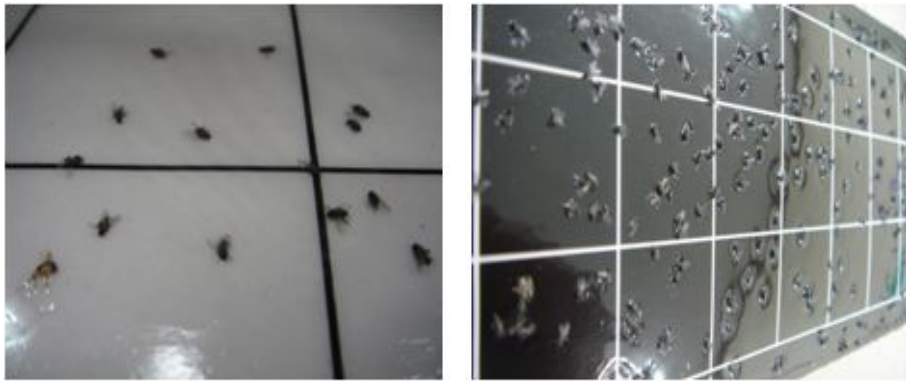


그림 5.4 포획 영상

Fig. 5.4 Capturing Image

### 5.1.3 실험영상 및 실험의 평가방법

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 평가를 위해 그림 5.5의 실험영상 5장을 사용하였다. 이 실험영상들은 5.1.2절의 포획장치에 포획된 해충의 포획영상 4장과 일반적인 영상처리 알고리즘 평가에 많이 사용하는 Lena 영상으로  $256 \times 256$  크기의 8bit 흑백 영상이다.

이 실험 영상들은 일반적 영상과 달리 모서리와 같은 고주파 성분이 적고, 영상의 대조비가 낮아 고주파 잡음이 다소 존재하는데, 웨이블릿 변환을 통해 중요한 영상정보를 저주파 대역에 집중시키고, 잡음이라 여겨지는 고주파 성분의 정보량을 낮추거나 제거하면 영상의 잡음제거와 동시에 효율적인 압축결과를 얻을 수 있으리라 예상된다.

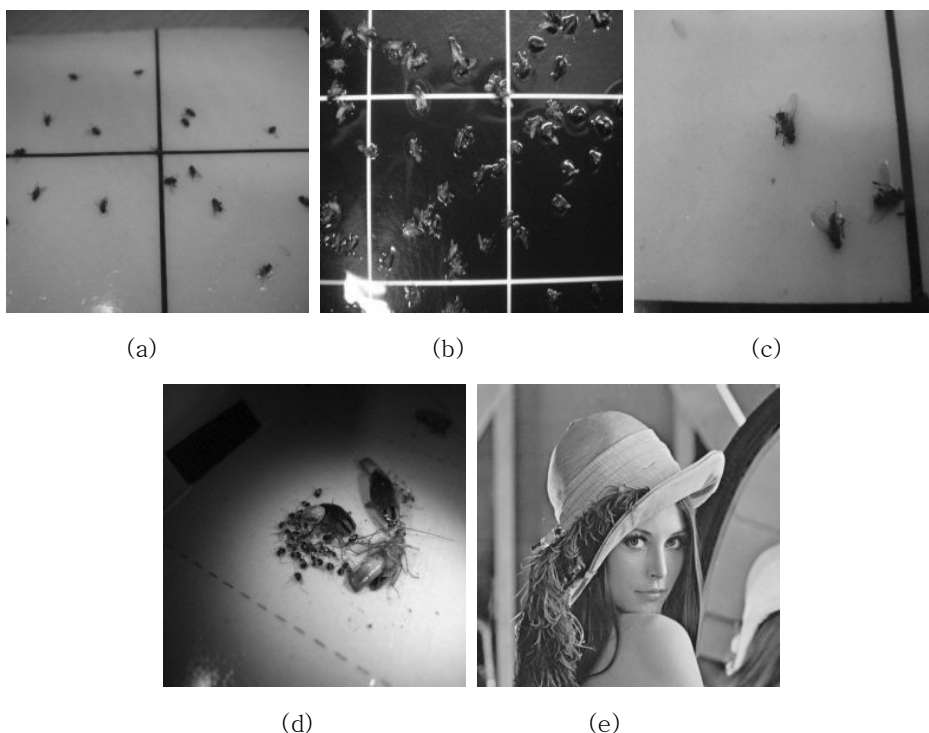


그림 5.5 실험영상

(a) 01 영상 (b) 02 영상 (c) 03 영상 (d) 04 영상 (e) Lena 영상

Fig. 5.5 Experiment Images

(a) 01 Image (b) 02 Image (c) 03 Image (d) 04 Image (e) Lena Image

우선, 잡음제거 실험을 위해 상기 영상들에 영상크기의 1% 임펄스 잡음과 평균이 0이고 표준편차가 5%인 가우시안 백색 잡음을 인위적으로 첨가하고, 기존의 웨이브렛 수축법과 제안방법의 잡음제거 능력을 PSNR 및 영상의 화질 비교를 수행하여 평가하고, 다음으로, 압축 성능 검증 실험에서는 상기 실험영상을 기존의 DCT, WT 압축방법과 제안방법으로 구분하여 0.45bpp~0.1bpp까지 다양한 압축률에서 비트율 대 PSNR (BPP vs PSNR)을 통한 평가와 압축 후 복원된 영상의 화질 비교를 수행하여 평가한다.

마지막으로, 잡음제거와 압축 실험에서는 제안방법의 평가를 위해 상기 PSNR 평가와 더불어, 결과 영상을 미분하여 화질을 비교하는 방법을 적용하여

보다 쉽고 명확한 성능 검증이 될 수 있도록 한다.

## 5.2 잡음제거 실험 및 평가

### 5.2.1 잡음제거 실험의 평가방법

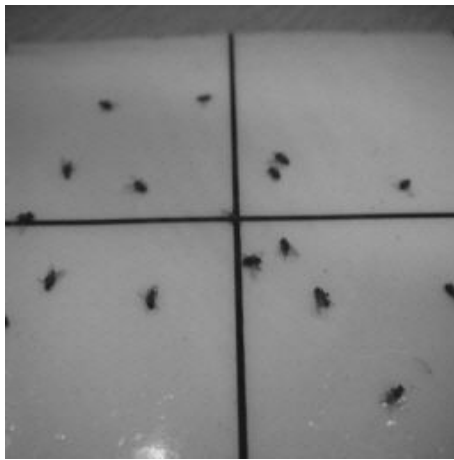
본 절에서는 4장에서 제안한 잡음제거 방법의 성능 평가를 위해 5.1절의 포획 영상들과 Lena 영상에 1%의 임펄스 잡음과 평균이 0이고 표준편차가 5%인 가우시안 백색 잡음을 인위적으로 첨가한 영상에 대해 범용 문턱값을 이용한 웨이블릿 수축법과 제안한 방법의 잡음제거 성능을 비교 평가한다.

잡음제거된 영상의 객관적인 평가를 위해 첨두신호 대 잡음비(PSNR)를 사용하였다. 보다 공정한 성능비교를 위하여 각 영상에 대해 상술한 잡음을 랜덤(Random)하게 추가시키고 10회의 반복적인 잡음제거 실험을 수행하여 얻어진 PSNR 값을 평균하여 객관적 성능 비교의 기준으로 한다.

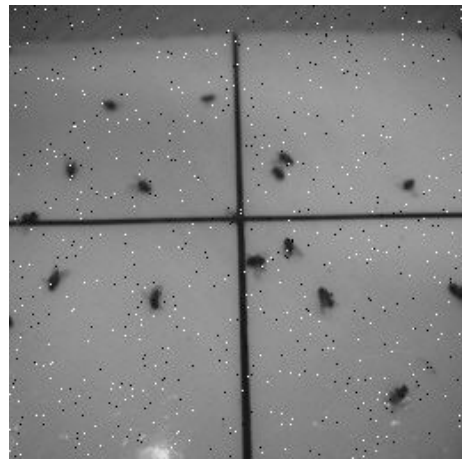
그림 5.6부터 그림 5.10까지는 잡음제거 실험에 사용할 잡음 영상이다. 각 그림의 (a)는 원 영상이고, (b)는 전체화소 수의 1% 화소(약 656화소)에 임펄스 잡음을 추가한 잡음 영상, (c)는 평균이 0이고 5%의 표준편차를 갖는 가우시안 잡음을 추가한 잡음 영상, (d)는 1%의 임펄스 잡음 및 5%의 표준편차를 갖는 가우시안 잡음을 동시에 추가한 잡음 영상이다. 각 잡음 영상의 PSNR을 비교해 보면, 가우시안 잡음보다는 임펄스 잡음에 의해서 화질 열화 현상이 두드러지게 나타남을 알 수 있다.

그림 5.10은 영상처리에 자주 사용되는 Lena 영상에 대해 동일한 방법으로 잡음을 추가한 것으로 일반적인 영상에 대해서도 제안한 방법의 타당성을 확인한다.

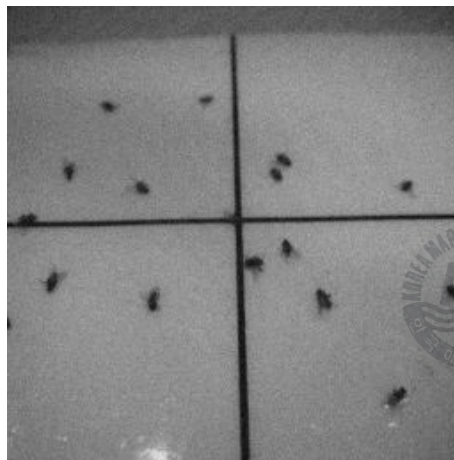




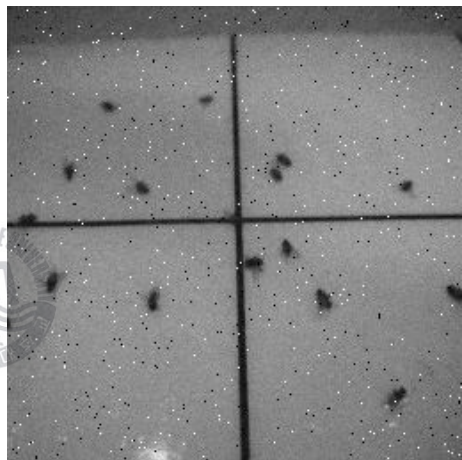
(a)



(b) (PSNR= 25.9991dB)



(c) (PSNR= 33.0474dB)



(d) (PSNR= 24.8832dB)

그림 5.6 '01' 영상과 잡음영상

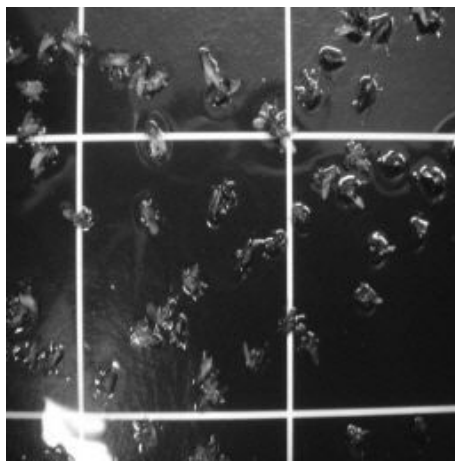
(a) 01 영상 (b) 1% 임펄스 잡음영상

(c) 5% 가우시안 잡음영상 (d) 임펄스+가우시안 잡음영상

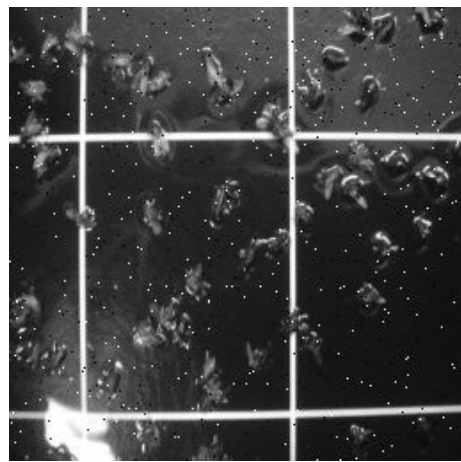
Fig. 5.6 '01' Image and Noised Image

(a) Original Image (b) 1% Impulse Noised Image

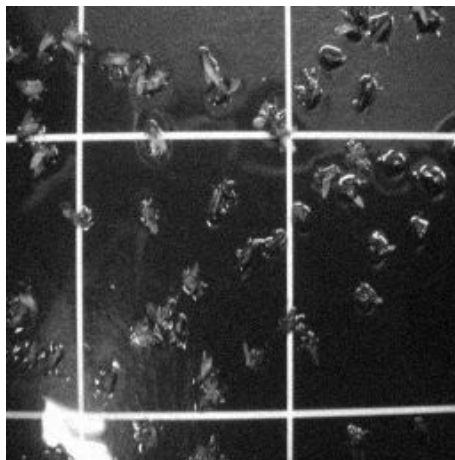
(c) 5% Gaussian Noised Image (d) Impulse and Gaussian Noised Image



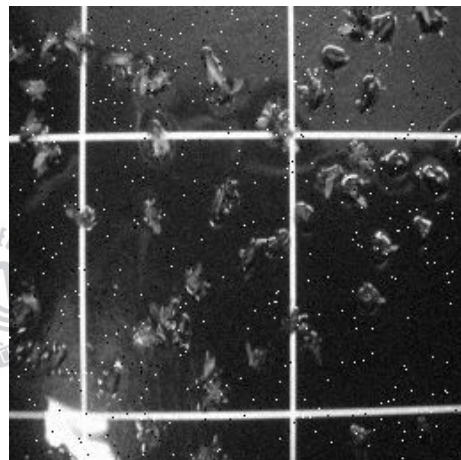
(a)



(b) (PSNR= 24.3734dB)



(c) (PSNR= 33.0488dB)



(d) (PSNR= 24.0808dB)

그림 5.7 '02' 영상과 잡음영상

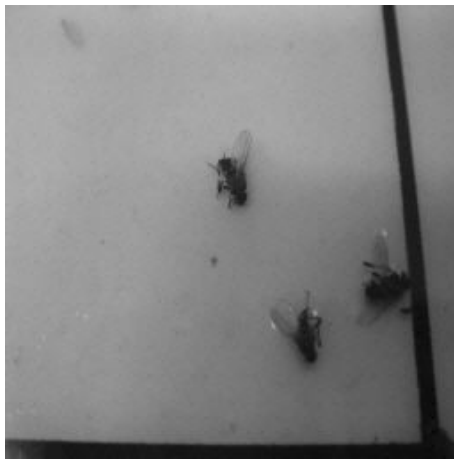
(a) 02 영상 (b) 1% 임펄스 잡음영상

(c) 5% 가우시안 잡음영상 (d) 임펄스+가우시안 잡음영상

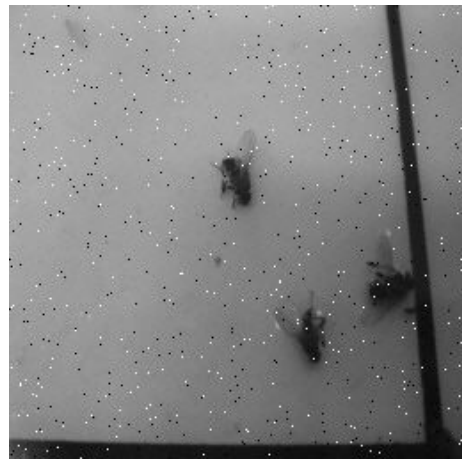
Fig. 5.7 '02' Image and Noised Image

(a) Original Image (b) 1% Impulse Noised Image

(c) 5% Gaussian Noised Image (d) Impulse and Gaussian Noised Image



(a)



(b) (PSNR= 25.4303dB)



(c) (PSNR= 33.0137dB)



(d) (PSNR= 25.1215dB)

그림 5.8 '03' 영상과 잡음영상

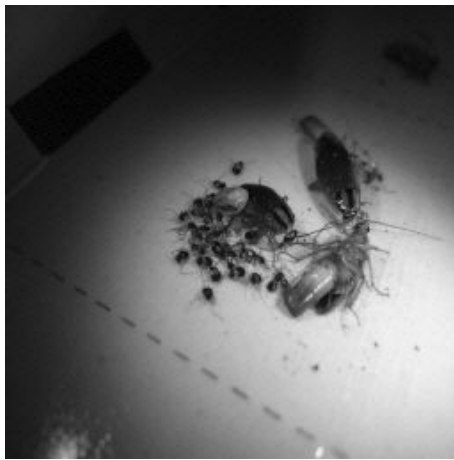
(a) 03 영상 (b) 1% 임펄스 잡음영상

(c) 5% 가우시안 잡음영상 (d) 임펄스+가우시안 잡음영상

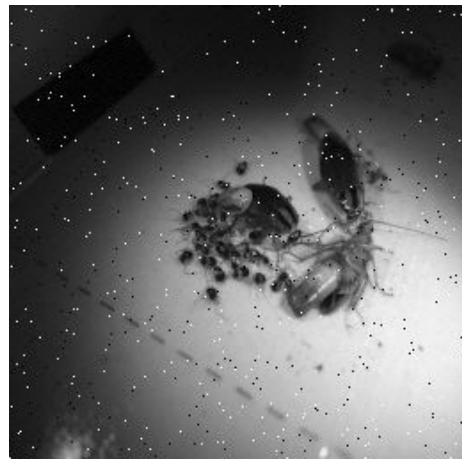
Fig. 5.8 '03' Image and Noised Image

(a) Original Image (b) 1% Impulse Noised Image

(c) 5% Gaussian Noised Image (d) Impulse and Gaussian Noised Image



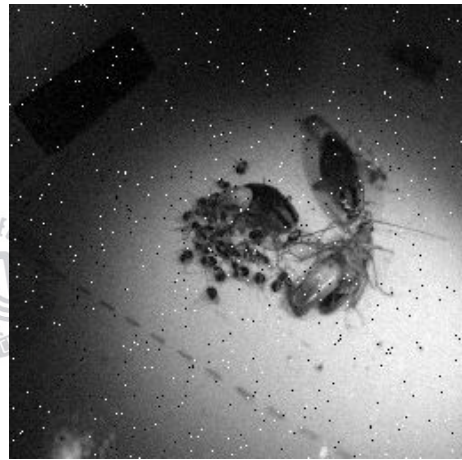
(a)



(b) (PSNR= 24.5361dB)



(c) (PSNR= 32.9991dB)



(d) (PSNR= 24.3617dB)

그림 5.9 '04' 영상과 잡음영상

(a) 04 영상 (b) 1% 임펄스 잡음영상

(c) 5% 가우시안 잡음영상 (d) 임펄스+가우시안 잡음영상

Fig. 5.9 '04' Image and Noised Image

(a) Original Image (b) 1% Impulse Noised Image

(c) 5% Gaussian Noised Image (d) Impulse and Gaussian Noised Image



(a)



(b) (PSNR= 25.6370dB)



(c) (PSNR= 33.0496dB)



(d) (PSNR= 24.8722dB)

그림 5.10 'Lena' 영상과 잡음영상

(a) Lena 영상 (b) 1% 임펄스 잡음영상

(c) 5% 가우시안 잡음영상 (d) 임펄스+가우시안 잡음영상

Fig. 5.10 'Lena' Image and Noised Image

(a) Original Image (b) 1% Impulse Noised Image

(c) 5% Gaussian Noised Image (d) Impulse and Gaussian Noised Image

## 5.2.2 잡음제거실험의 객관적 평가

그림 5.11부터 그림 5.15까지는 1%의 임펄스 잡음과 5%의 가우시안 잡음이 포함된 영상에 대하여 웨이블릿 수축법과 제안방법의 잡음제거 실험 결과이다. 정확한 실험 평가를 위해 각 영상에 대해 10회의 잡음제거 실험을 수행하고 각 방법의 PSNR 결과를 비교하였다.

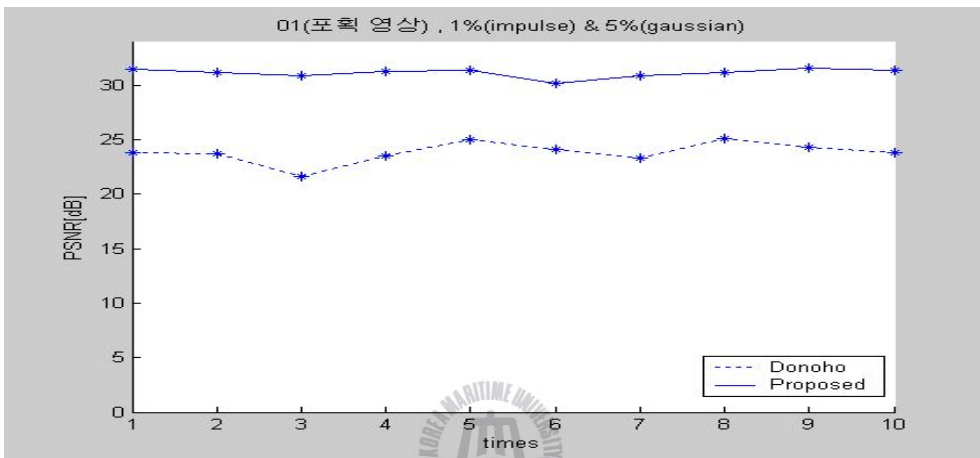


그림 5.11 잡음제거된 '01' 영상의 PSNR

Fig. 5.11 PSNR Results of the Denoised '01' Image

그림 5.11은 잡음제거된 '01' 영상의 PSNR로 기존 방법과 제안 방법이 평균 7.2dB 차이를 보이고, 그림 5.12는 '02' 영상으로 약 0.3dB의 차이를 보인다. 테스트 영상 중에 '02' 영상의 PSNR 차이가 가장 작았다.



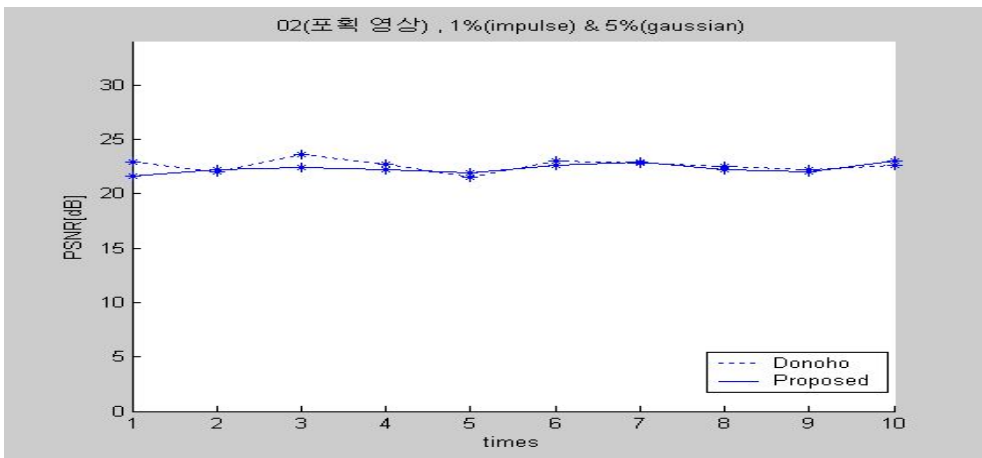


그림 5.12 잡음제거된 '02' 영상의 PSNR

Fig. 5.12 PSNR Results of the Denoised '02' Image

그림 5.13과 그림 5.14는 '03' 영상과 '04' 영상의 PSNR 결과이다. '03' 영상은 평균적으로 약 8dB의 차이를 보이고 있고, '04' 영상은 0.9dB 이상의 차이를 보이고 있다.

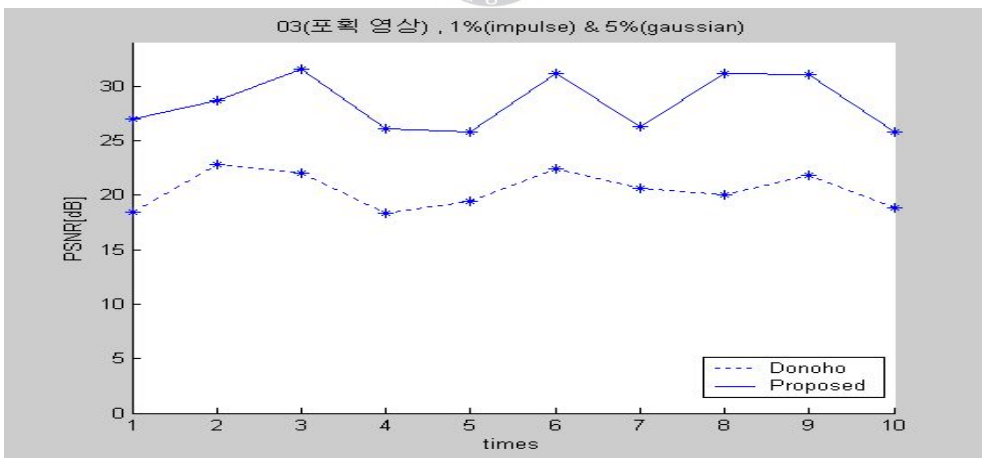


그림 5.13 잡음제거된 '03' 영상의 PSNR

Fig. 5.13 PSNR Results of the Denoised '03' Image

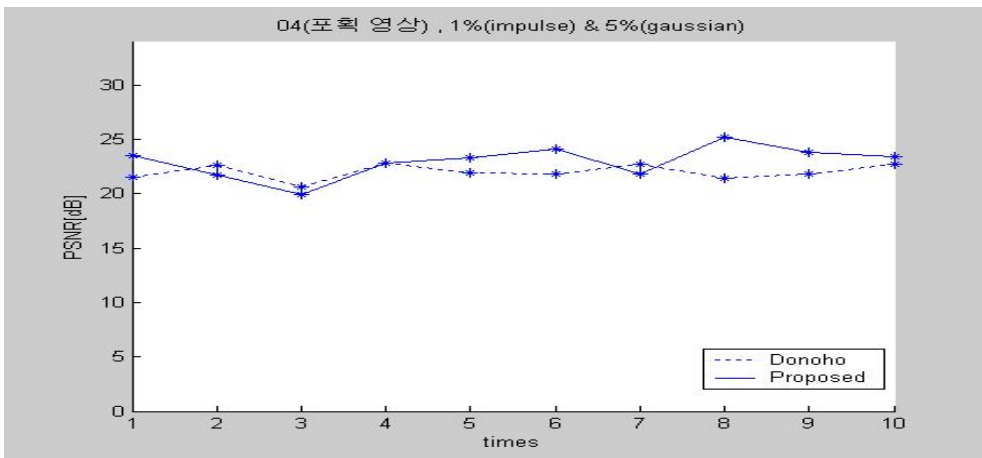


그림 5.14 잡음제거된 '04' 영상의 PSNR

Fig. 5.14 PSNR Results of the Denoised '04' Image

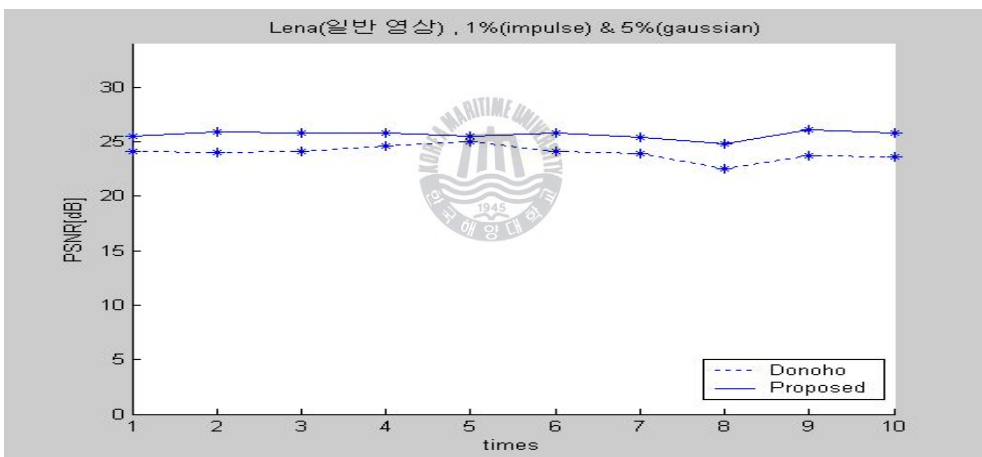


그림 5.15 잡음제거된 'Lena' 영상의 PSNR

Fig. 5.15 PSNR Results of the Denoised 'Lena' Image

그림 5.15는 영상처리 알고리즘의 성능평가에 많이 사용하는 'Lena' 영상에 대한 잡음제거 결과이다. 제안방법의 PSNR 결과가 다소 앞서있지만 그 차이가 0.6dB로 다른 영상에 비해 차이가 크지 않았다. 이상의 결과를 요약 정리하여 표 5.1로 나타내었다.



표 5.1 1% 임펄스 잡음 + 5% 가우시안 잡음의 경우

①: 범용 문턱값 방법, ②: 제안방법

Table 5.1 Case of 1% Impulse Noise + 5% Gaussian Noise

①: Universal Threshold Method ②: Proposed Method

| 영<br>상   | 방<br>법 | 1회     | 2회     | 3회     | 4회     | 5회     | 6회     | 7회     | 8회     | 9회     | 10회    | 평균     | ②-①    |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 01       | ①      | 23.787 | 23.730 | 21.623 | 23.538 | 24.977 | 24.120 | 23.277 | 25.142 | 24.320 | 23.807 | 23.832 | 7.292  |
|          | ②      | 31.489 | 31.150 | 30.829 | 31.292 | 31.340 | 30.178 | 30.869 | 31.203 | 31.567 | 31.323 | 31.124 |        |
| 02       | ①      | 22.937 | 22.056 | 23.622 | 22.678 | 21.532 | 22.993 | 22.832 | 22.548 | 22.223 | 22.619 | 22.604 | -0.271 |
|          | ②      | 21.607 | 22.264 | 22.449 | 22.216 | 21.939 | 22.577 | 22.937 | 22.234 | 22.057 | 23.055 | 22.333 |        |
| 03       | ①      | 18.424 | 22.803 | 22.035 | 18.391 | 19.399 | 22.404 | 20.642 | 19.990 | 21.814 | 18.814 | 20.472 | 7.991  |
|          | ②      | 26.997 | 28.724 | 31.533 | 26.131 | 25.802 | 31.191 | 26.260 | 31.171 | 31.062 | 25.763 | 28.463 |        |
| 04       | ①      | 21.478 | 22.627 | 20.627 | 22.864 | 21.933 | 21.870 | 22.699 | 21.402 | 21.867 | 22.729 | 22.010 | 0.965  |
|          | ②      | 23.483 | 21.770 | 19.974 | 22.859 | 23.326 | 24.094 | 21.809 | 25.194 | 23.806 | 23.435 | 22.975 |        |
| LE<br>NA | ①      | 24.122 | 24.035 | 24.076 | 24.643 | 24.962 | 24.093 | 23.865 | 22.503 | 23.712 | 23.626 | 23.964 | 1.686  |
|          | ②      | 25.482 | 25.928 | 25.812 | 25.783 | 25.517 | 25.825 | 25.425 | 24.824 | 26.077 | 25.829 | 25.650 |        |

### 5.2.3 잡음제거실험의 주관적 평가

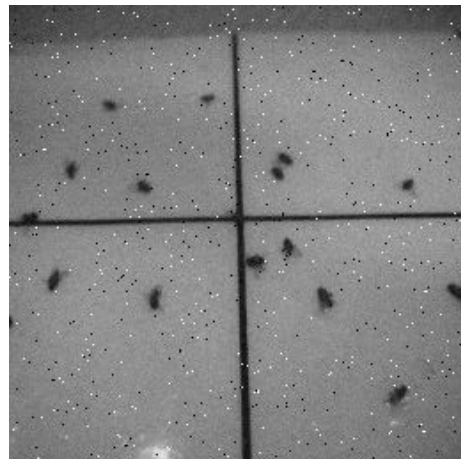
그림 5.16부터 5.20까지는 Donoho의 범용 문턱값 방법과 제안방법의 잡음 제거 성능의 주관적 평가를 위해 나타낸 것이다.

그림 5.16의 '01' 영상의 경우, 범용 문턱값 방법보다 약 8dB의 PSNR 개선이 있었고 주관적인 화질의 차이가 크게 나타났다. 특히, 임펄스 잡음의 경우, 기존 방법에서는 미약하게 남아 있지만, 제안 방법의 경우 대부분 제거되었음을 확인할 수 있었다. 그림 5.17의 '02' 영상의 경우, 제안방법이 약 0.7dB의 PSNR 개선을 보이고 있으며 기존 방법보다 임펄스 잡음에 효과적이나, 다른 영상에 비해 개선정도가 낮다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 '02' 영상이 다른 영상에 비해 전체적으로 어두운 배경을 하고 있어 대조비가 낮아 잡음제거시 발생하는 모서리 열화 현상 때문이라 생각된다. 그림 5.18의 '03' 영상의 경우에는 기존 잡음제거 방법에 비하여 약 10dB 정도의 매우 큰 PSNR 개선을 보여주고 있으며 제안 방법이 영상의 윤곽선 성분을 잘 보존하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 5.19의 '04' 영상의 경우에도 기존 방법보다 화질 향상이 두드러지게 나타남을 확인할 수 있다.

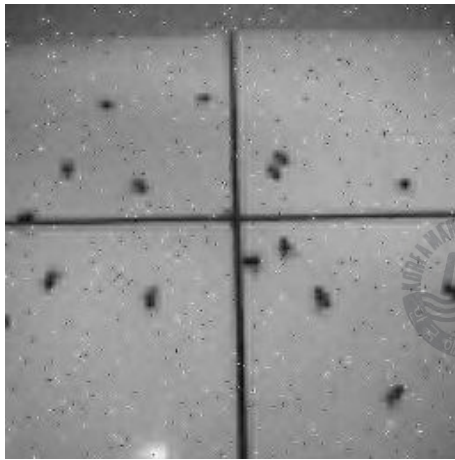
마지막으로, 'Lena' 영상에 대해서는 제안 방법이 약 0.8dB 정도의 PSNR 향상을 보였지만, 기존 방법보다 대조비가 약화되어 선명도가 떨어지고, 그 결과 전체적인 주관적 화질이 열화 되었다. 그러나, 이 경우에도 임펄스 잡음은 효과적으로 제거되고 있으며 예리한 모서리 성분이 기존 방법보다 잘 보존됨을 알 수 있다.



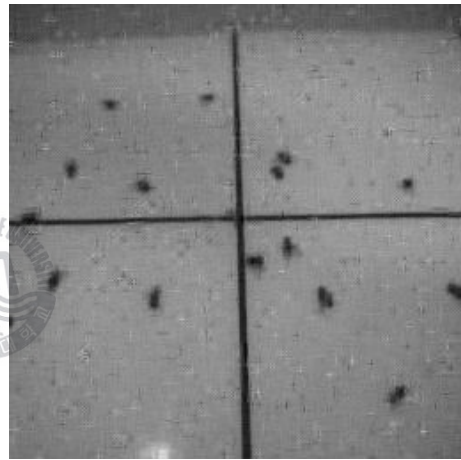
(a)



(b) (PSNR= 25.0120dB)



(c) (PSNR= 23.5491dB)



(d) (PSNR= 31.3789dB)

그림 5.16 '01' 영상의 잡음제거 결과

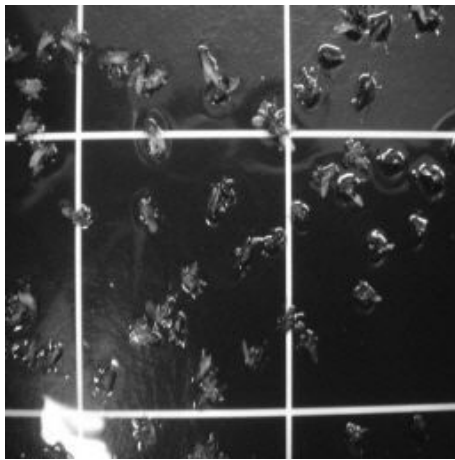
(a) 원영상 (b) 임펄스+가우시안 잡음영상

(c) 범용 문턱값 방법 (d) 제안 방법

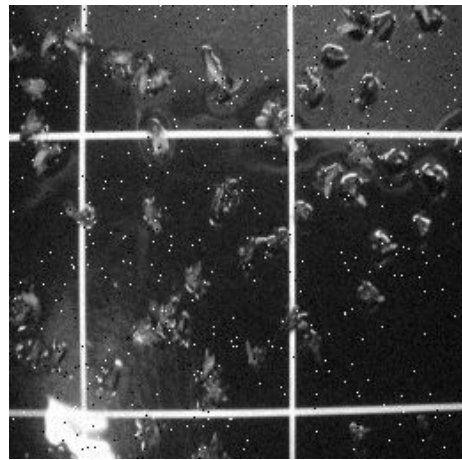
Fig. 5.16 Denoising Results of the '01' Image

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

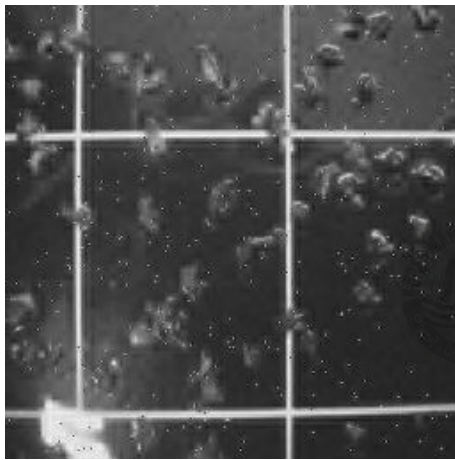
(c) Universal Thresholding Method (d) Proposed Method



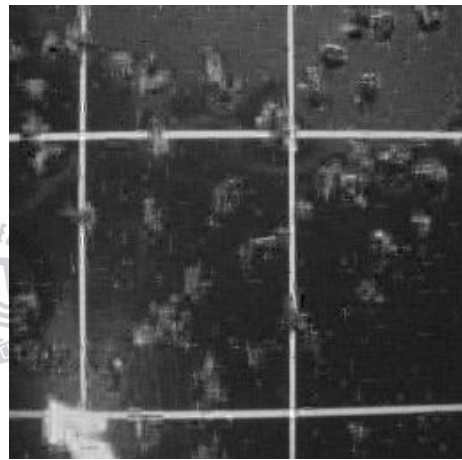
(a)



(b) (PSNR= 23.9641dB)



(c) (PSNR= 21.9909dB)



(d) (PSNR= 22.6503dB)

그림 5.17 '02' 영상의 잡음제거 결과

(a) 원영상 (b) 임펄스+ 가우시안 잡음영상

(c) 범용 문턱값 방법 (d) 제안 방법

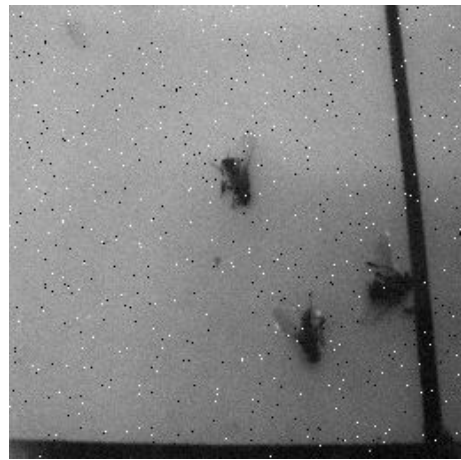
Fig. 5.17 Denoising Results of the '02' Image

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Universal Thresholding Method (d) Proposed Method



(a)



(b) (PSNR= 25.1932dB)



(c) (PSNR= 21.8533dB)



(d) (PSNR= 31.3003dB)

그림 5.18 '03' 영상의 잡음제거 결과

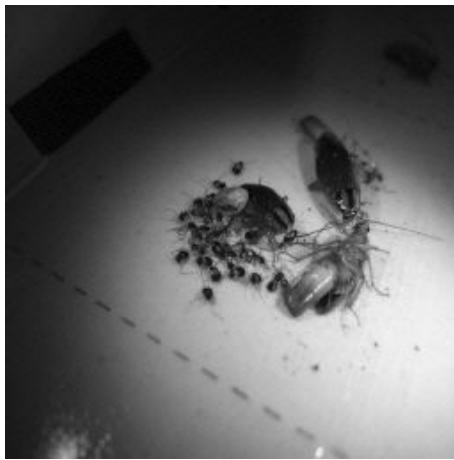
(a) 원영상 (b) 임펄스+가우시안 잡음영상

(c) 범용 문턱값 방법 (d) 제안 방법

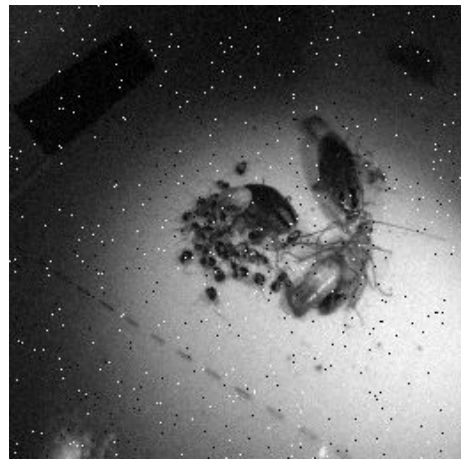
Fig. 5.18 Denoising Results of the '03' Image

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Universal Thresholding Method (d) Proposed Method



(a)



(b) (PSNR= 24.0105dB)



(c) (PSNR= 22.4030dB)



(d) (PSNR= 23.0045dB)

그림 5.19 '04' 영상의 잡음제거 결과

(a) 원영상 (b) 임펄스+ 가우시안 잡음영상

(c) 범용 문턱값 방법 (d) 제안 방법

Fig. 5.19 Denoising Results of the '04' Image

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Universal Thresholding Method (d) Proposed Method





(a)



(b) (PSNR= 24.3085dB)



(c) (PSNR= 24.8207dB)



(d) (PSNR= 24.9864dB)

그림 5.20 'Lena' 영상의 잡음제거 결과

(a) 원영상 (b) 임펄스+ 가우시안 잡음영상

(c) 범용 문턱값 방법 (d) 제안 방법

Fig. 5.20 Denoising Results of the 'Lena' Image

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Universal Thresholding Method (d) Proposed Method

## 5.2.4잡음제거실험의결론

앞 절의 주관적/객관적 평가를 통해 제안한 잡음제거 방법이 Donoho의 범용 문턱값 방법보다 임펄스 잡음제거 및 모서리 성분 보존 성능이 우수함을 확인하였다. 객관적인 평가 지표인 PSNR은 기존의 범용 문턱값 방법보다 제안방법이 평균  $-0.2 \sim 8\text{dB}$ 의 성능 개선을 보이고 있으며, 또한, 제안 방법이 기존의 방법보다 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하고 영상의 모서리 정보를 보존하여 주관적 화질 평가에서도 좋은 결과를 보였다. 그러나, 전체적으로 어두운 영상의 경우, 제안 방법의 결과가 전체적인 대조비 성분을 약화 시켜 잡음제거에도 불구하고 화질열화 현상을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 제안 방법을 통해 잡음제거된 영상을 확대하여 화질을 평가해 보면, 임펄스 잡음 위치에 미세하게 십자 형태의 잔상이 남는 문제가 있었고 이는 임펄스 잡음에 해당하는 계수를 보간(Interpolation)하는 과정에서 나타난 현상으로 여겨진다.



## 5.3 영상압축 실험 및 평가

### 5.3.1 영상압축실험의평가방법

제안한 압축 시스템의 성능 평가를 위해, DCT를 이용한 baseline 압축 방법, 웨이브렛 변환(WT)을 이용한 압축 방법, 그리고 제안한 압축 방법(QBBQ)을 비교 평가한다. 복원 영상 성능의 객관적인 평가를 위해 화소당 비트율(BPP, Bit Per Pixel)과 PSNR을 사용하였다.

### 5.3.2 영상압축실험의객관적평가

그림 5.21부터 그림 5.25까지는 각각 '01', '02', '03', '04' 테스트 영상 및 'Lena' 영상에 대하여 3가지 압축 방법을 적용한 실험 결과이다. 입력 영상을



0.45 ~ 0.1bpp까지 압축한 후, 각각의 BPP vs. PSNR 결과를 그래프로 나타내어 비교한 것이다.

이 결과 그래프를 통해, DCT 압축 시, 0.13bpp 이상의 비트율에서는 30dB 정도의 높은 PSNR을 보이고 있지만, 비트율이 낮아지면서 상대적으로 PSNR이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 전체적으로 DCT 기반 압축은 대략 0.18bpp를 기준으로 웨이블릿 기반 방법들보다 압축성능이 떨어짐을 확인할 수 있다.

그림 5.21의 '01' 영상에서는 0.18bpp를 기준으로 낮은 압축율에서는 DCT 압축이 우수함을 보이나, 고압축에서는 웨이블릿 압축과 쿼드트리 기법을 적용한 방법이 PSNR의 차이가 점차 커져, DCT 압축과는 0.1bpp에서 10dB 이상의 차이를 보여 제안방법의 우수함을 알 수 있다.

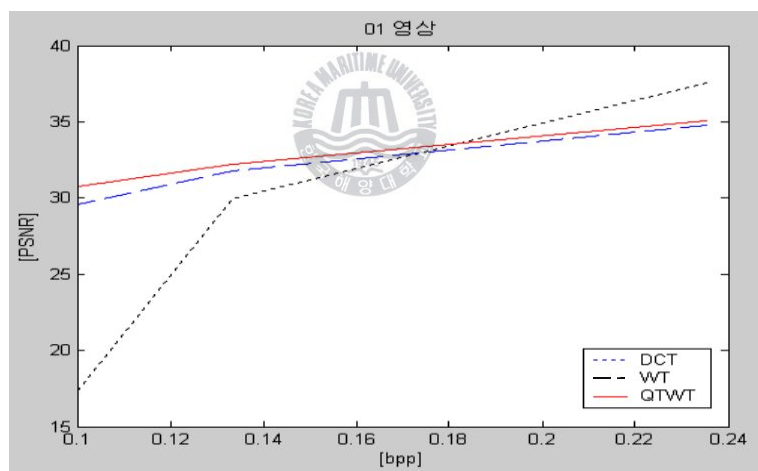


그림 5.21 '01' 영상의 BPP vs. PSNR

Fig. 5.21 BPP vs. PSNR of the '01' Image

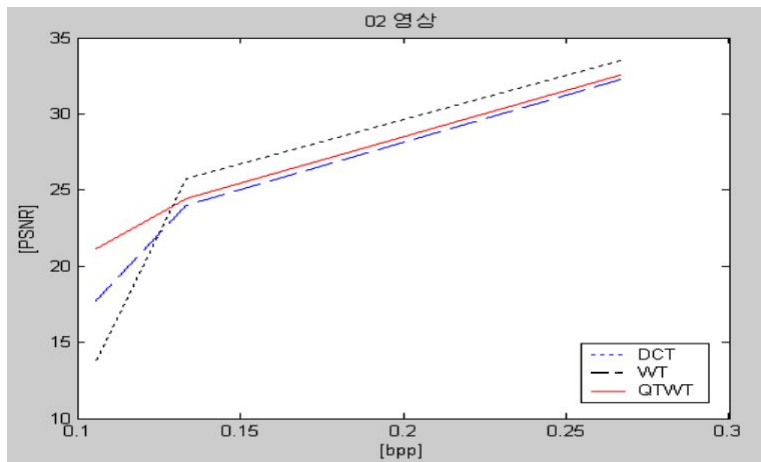


그림 5.22 '02' 영상의 BPP vs. PSNR

Fig. 5.22 BPP vs. PSNR of the '02' Image

그림 5.22의 '02' 영상에서는 0.1bpp의 고압축에서 웨이브렛 기법과 쿼드트리  
리를 적용한 방법이 DCT 압축에 비해 PSNR이 약 8dB정도 차이를 보인다.

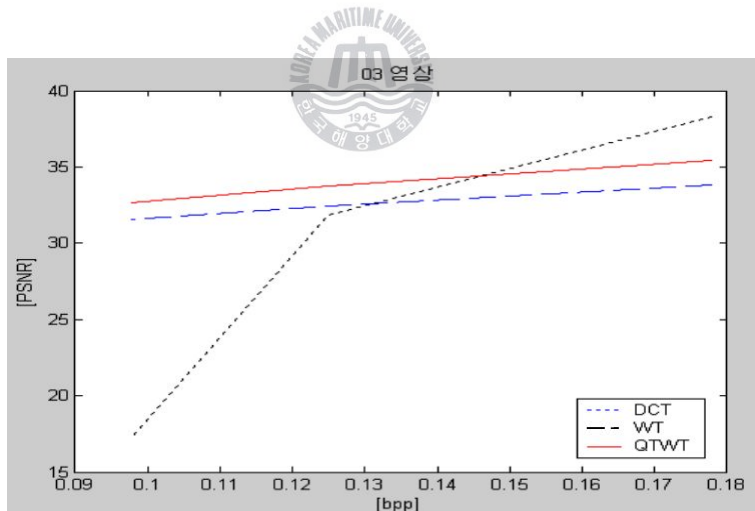


그림 5.23 '03' 영상의 BPP vs. PSNR

Fig. 5.23 BPP vs. PSNR of the '03' Image

그림 5.23의 '03' 영상에서는 0.1bpp의 고압축에서 웨이브렛 기법과 쿼드트리  
리를 적용한 방법이 DCT 압축에 비해 PSNR이 무려 15dB정도 차이를 보인다

다. '03' 영상에서는 제안한 압축 방법이 매우 효과적임을 알 수 있다.

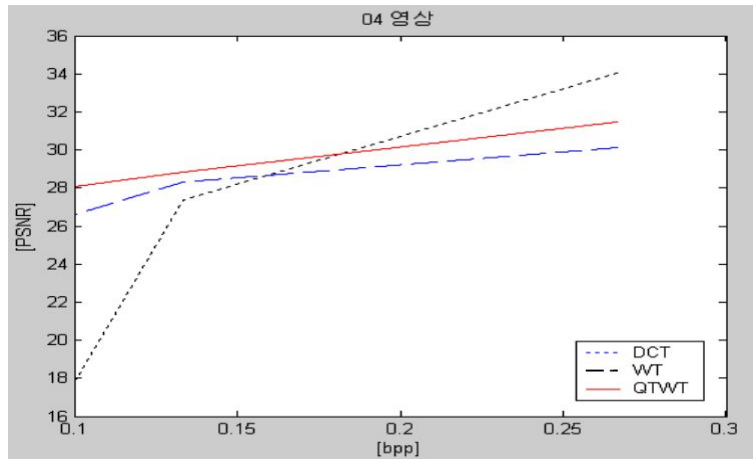


그림 5.24 '04' 영상의 BPP vs. PSNR

Fig. 5.24 BPP vs. PSNR of the '04' Image

그림 5.24의 '04' 영상에서도 0.18bpp 이하의 고압축에서 웨이브렛 기법이 DCT 기법보다 PSNR이 더 높아지며, 0.1bpp에서는 약 10dB이상의 큰 차이를 보인다.

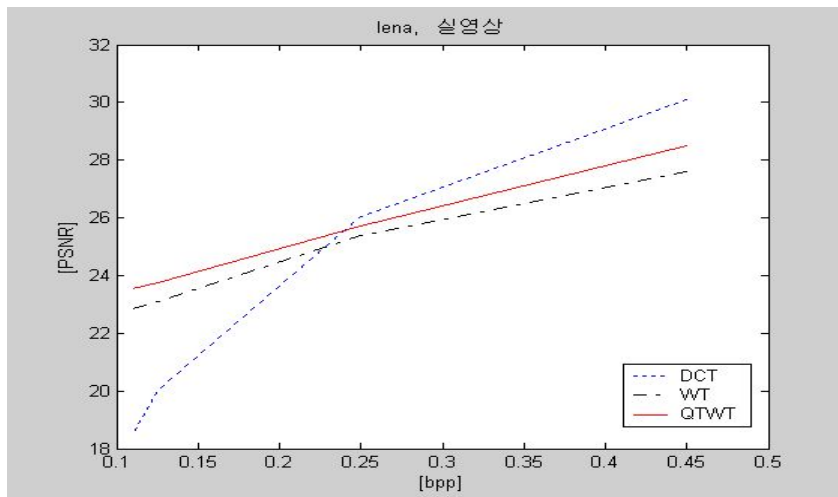


그림 5.25 'Lena'영상의 BPP vs. PSNR

Fig. 5.25 BPP vs. PSNR of the 'Lena' image

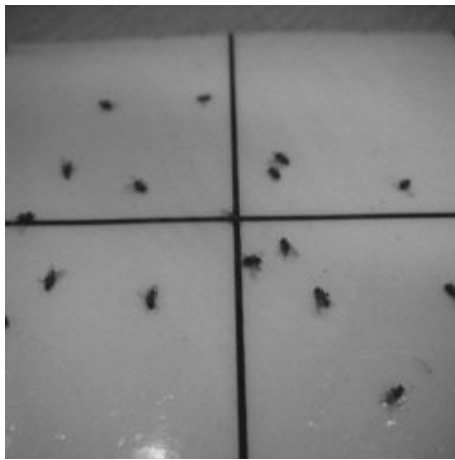
그림 5.25의 ‘Lena’영상 또한 다른 실험 영상들과 유사한 결과를 보였다. 약 0.25bpp 이상의 고압축 경우에 DCT 방법에 대한 PSNR은 급격히 감소하지만, 제안 방법은 PSNR 변화정도가 상대적으로 작게 나타났다.

이처럼 모든 실험 영상의 객관적 평가에서 0.25bpp 이하의 고압축시에는 기존 웨이브렛 압축과 쿼드트리틀 적용한 제안 압축 방법이 DCT 압축보다 최대 15dB이상의 PSNR을 알 수 있고, 영상마다 다소 차이를 보이고 있지만 쿼드트리틀 적용한 압축 방법이 기존 웨이브렛 압축보다 다소 우수함을 알 수 있다.

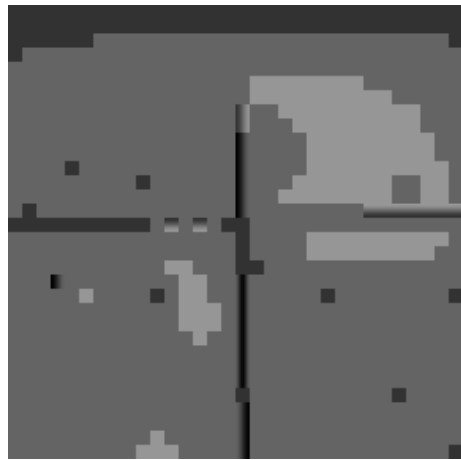
### 5.3.3 영상압축실험의 주관적 평가

그림 5.26부터 5.30까지는 각각 ‘01’, ‘02’, ‘03’, ‘04’ 테스트 영상과 ‘Lena’ 영상에 대해서, 0.1~0.125bpp로 압축된 영상과 원영상(Original Image)과의 주관적인 화질비교 결과이다.

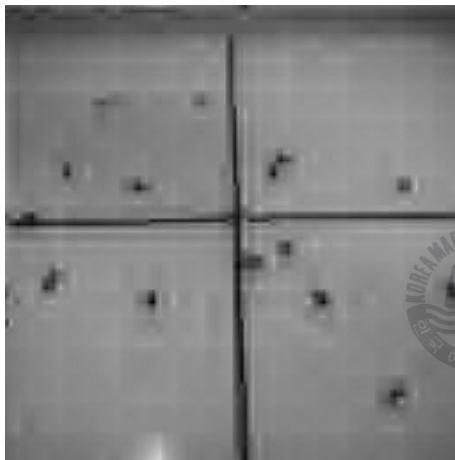
이 평가에서 적용된 압축률은 영상에 따라 0.1~0.125bpp(64배 이상 고압축)이다. 먼저 DCT 압축 기법과 기존 웨이브렛 영상압축 기법을 비교하면, DCT 압축 기법에 의해 복원된 영상은 고압축시 화질저하 현상인 블록킹 현상이 두드러지게 나타나지만, 반면 동일한 비트율에서도 기존 웨이브렛 영상압축 기법은 인간의 시각 시스템과 유사한 영상 분해 방법을 이용하므로, 이러한 블록킹 현상이 발생하지 않아, 인간 시각으로도 매우 우수한 화질 개선 효과가 있음을 알 수 있다. 또한, 기존 웨이브렛 영상압축기법과 쿼드트리 기반 블록 양자화 영상압축 기법을 비교해 보면, 전체적으로는 시각적 차이를 뚜렷하게 찾을 수 없지만, 부분적으로는 다소 쿼드트리 기반 블록 양자화 영상압축기법이 좋아진 것을 알 수 있다.



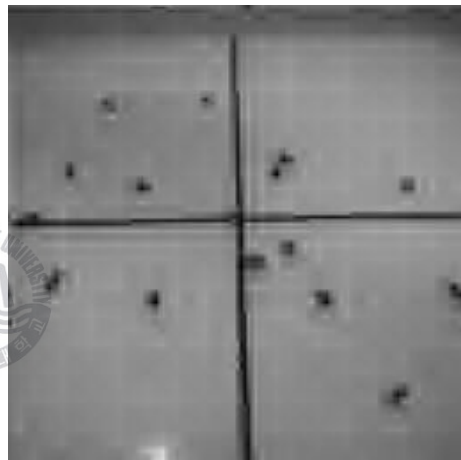
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5.26 '01' 영상, 0.1bpp

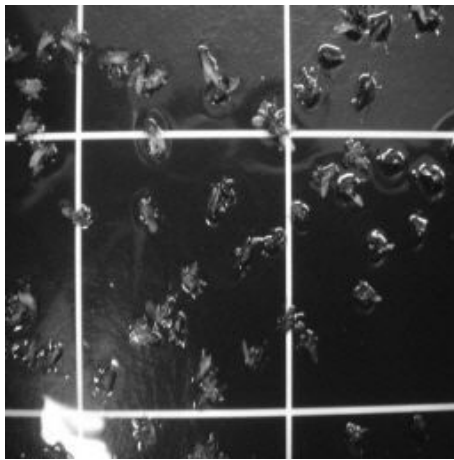
(a) 원영상 (b) DCT, PSNR=17.36dB

(c) WT, PSNR=29.59dB (d) 제안방법, PSNR=30.73dB

Fig. 5.26 '01' Image, 0.1bpp

(a) Original Image (b) DCT, PSNR=17.36dB

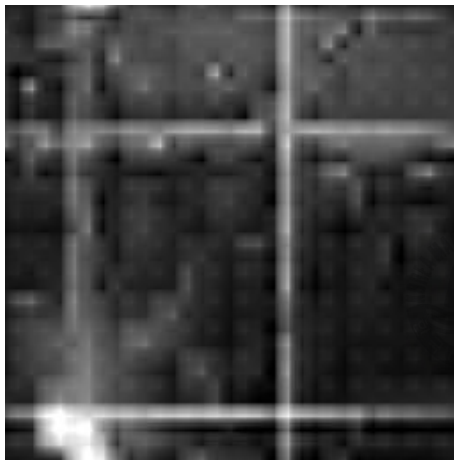
(c) WT, PSNR=29.59dB (d) Proposed Method, PSNR=30.73dB



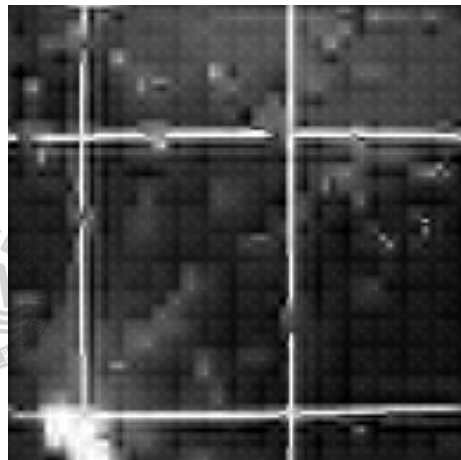
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5.27 '02' 영상, 0.105bpp

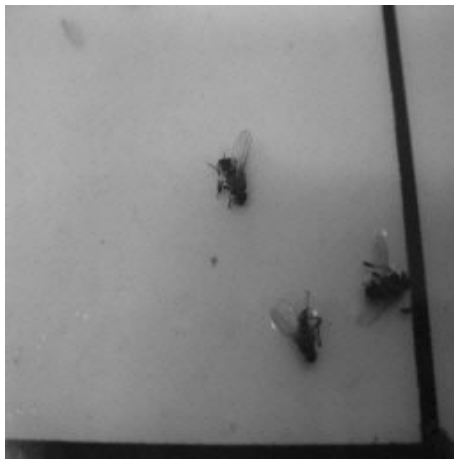
(a) 원영상 (b) DCT, PSNR=13.56dB

(c) WT, PSNR=17.66dB (d) 제안방법, PSNR=21.09dB

Fig. 5.27 '02' Image, 0.105bpp

(a) Original Image (b) DCT, PSNR=13.56dB

(c) WT, PSNR=17.66dB (d) Proposed Method, PSNR=21.09dB



(a)



(b)



(b)



(c)

그림 5.28 '03' 영상, 0.097bpp

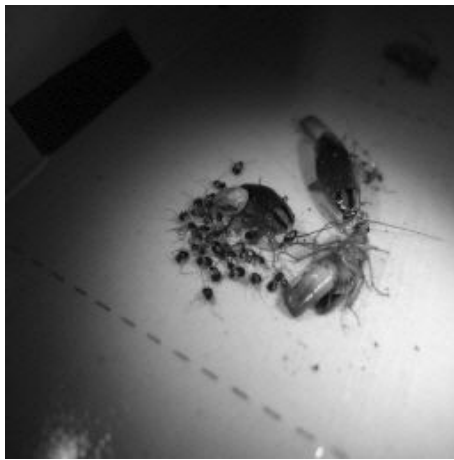
(a) 원영상 (b) DCT, PSNR=17.16dB

(c) WT, PSNR=31.55dB (d) 제안방법, PSNR=32.65dB

Fig. 5.28 '03' Image, 0.097bpp

(a) Original Image (b) DCT, PSNR=17.16dB

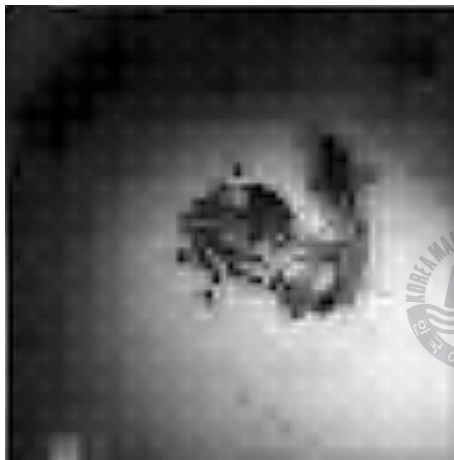
(c) WT, PSNR=31.55dB (d) Proposed Method, PSNR=32.65dB



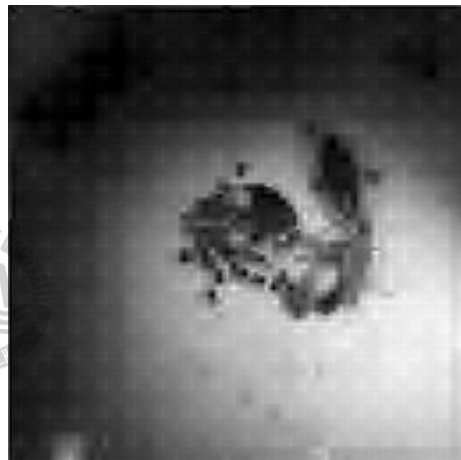
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5.29 '04' 영상, 0.1bpp

(a) 원영상 (b) DCT, PSNR=17.85dB

(c) WT, PSNR=26.61dB (d) 제안방법, PSNR=28.06dB

Fig. 5.29 '04' Image, 0.1bpp

(a) Original Image (b) DCT, PSNR=17.85dB

(c) WT, PSNR=26.61dB (d) Proposed Method, PSNR=28.06dB





(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5.30 'Lena' 영상, 0.125bpp

(a) 원영상 (b) DCT, PSNR=20.03dB

(c) WT, PSNR=23.09dB (d) 제안방법, PSNR=23.77dB

Fig. 5.30 'Lena' Image, 0.125bpp

(a) Original Image (b) DCT, PSNR=20.03dB

(c) WT, PSNR=23.09dB (d) Proposed Method, PSNR=23.77dB

### 5.3.4 영상 압축 실험의 결론

앞 절의 실험 결과를 통해 제안한 압축 방법이 고압축시 기존 DCT 방법보다 객관적 및 주관적으로 우수함을 알 수 있다. 0.125 bpp(64:1의 압축비)에서 DCT는 블록킹 현상에 의해 영상이 심하게 손상되지만, 웨이브렛 변환 기반 압축 방법은 비교적 양호한 화질 결과를 보였다.

표 5.2는 실험 영상의 압축 실험 결과를 비교하기 쉽게 요약한 것이다.

표 5.2 압축 실험 결과 요약

Table 5.2 Summery of Compression Results

| 영상           | 압축비(bpp) | DCT   | WT    | 제안방법  |
|--------------|----------|-------|-------|-------|
| '01'<br>실험영상 | 0.235    | 37.55 | 34.80 | 35.09 |
|              | 0.133    | 29.94 | 31.74 | 32.20 |
|              | 0.1      | 17.36 | 29.59 | 30.73 |
| '02'<br>실험영상 | 0.267    | 33.53 | 32.28 | 32.57 |
|              | 0.133    | 25.73 | 24.03 | 24.42 |
|              | 0.105    | 13.56 | 17.66 | 21.09 |
| '03'<br>실험영상 | 0.178    | 38.25 | 33.84 | 35.42 |
|              | 0.125    | 31.85 | 32.42 | 33.78 |
|              | 0.097    | 17.16 | 31.55 | 32.65 |
| '04'<br>실험영상 | 0.267    | 34.06 | 30.13 | 31.47 |
|              | 0.133    | 27.38 | 28.30 | 28.83 |
|              | 0.1      | 17.85 | 26.61 | 28.06 |
| 'Lena'<br>영상 | 0.25     | 26.04 | 25.37 | 25.72 |
|              | 0.125    | 20.03 | 23.09 | 23.77 |
|              | 0.114    | 18.47 | 22.87 | 23.55 |

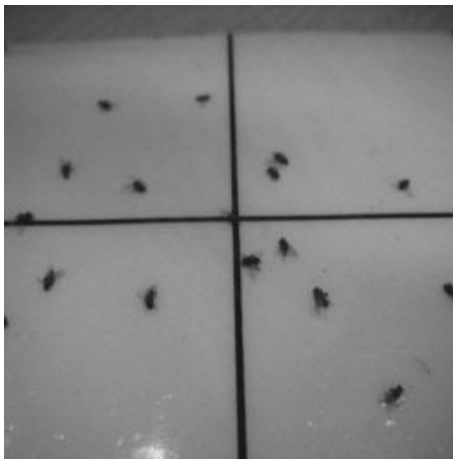
표 5.2를 보면, 각 방법과 압축률에 따라 객관적 평가 지표인 PSNR이 다르게 나타나지만, 0.1 bpp (80:1) 이상의 고압축에 대해 제안한 방법이 DCT 방

법보다는 최대 12dB의 성능 개선을 보이고 있고, WT 방법보다는 최고 3.4dB의 성능 향상을 나타냈다. 또한, Lena 영상에 대해서도 다른 영상과 동일한 성능을 보이고 있어, 일반적인 영상에 대해서도 제안한 압축 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다. 단, 0.267 bpp (30:1) 이하의 저압축시에 DCT보다 PSNR이 다소 떨어지는 현상이 나타나는데 이는, 변환계수에 포함된 '0'의 수가 고압축시보다 상대적으로 적어 쿼드트리 기반 불럭 양자화의 효과가 줄어들기 때문으로 판단된다. 또한, 객관적인 PSNR은 낮아지지만 주관적 화질에는 DCT 방법과 크게 차이가 없어 산술 부호화나(Arithmetic Encoding), EZW(Embedded Zerotree Wavelet), 또는 벡터 양자화(Vector Quantization) 등을 이용한다면, 저압축시의 PSNR 개선 문제를 해결할 수 있을 것이다.

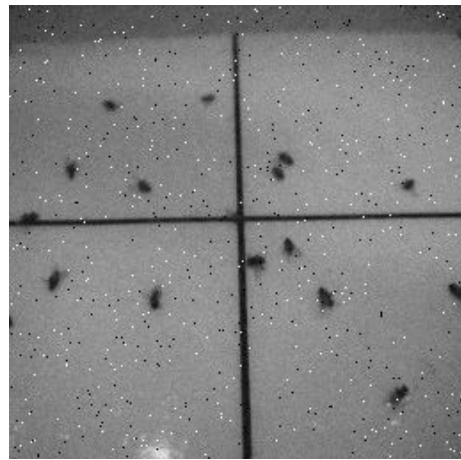
## 5.4 통합 알고리즘에 대한 실험 및 평가

### 5.4.1 통합 알고리즘의 성능 평가 방법

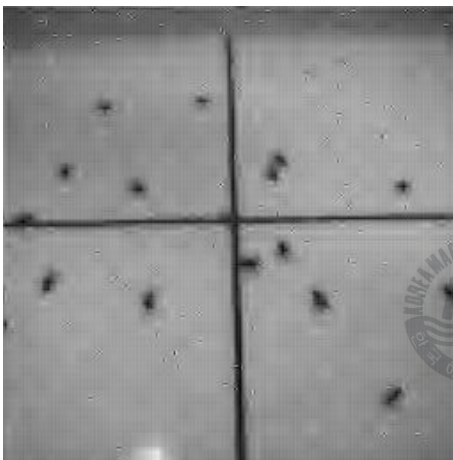
이 절에서는 4.8절에서 제안한 잡음제거와 압축의 통합 시스템에 대한 성능 평가를 위해, 5.2절의 잡음 영상에 대해 고정문턱값을 이용한 웨이블릿 변환 방법(WT)과 4.8절에서 제안한 개선된 적응문턱값을 이용한 웨이블릿 변환 방법(QBBQ)을 적용하여 압축을 수행한 후, 0.25 bpp (32:1의 압축률)에 대한 PSNR 결과와 주관적 화질을 비교 평가 한다.



(a)



(b) (PSNR= 25.11dB)



(c) (PSNR= 24.20dB)



(d) (PSNR= 32.60dB)

그림 5.31 '01'의 잡음제거 및 영상압축, 0.25bpp

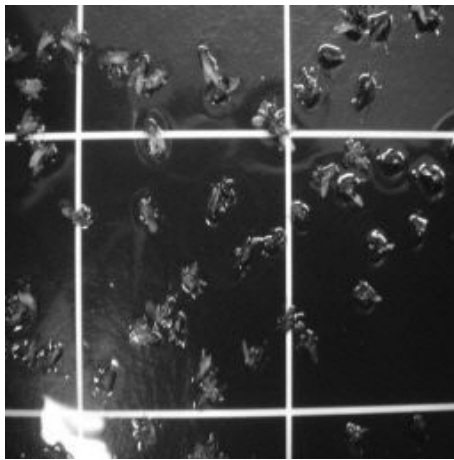
(a) 원영상 (b) 임펄스 및 가우시안 잡음영상

(c) 고정문턱값 방법 (d) 제안방법

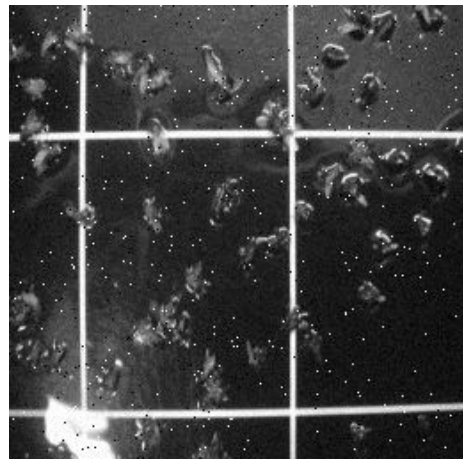
Fig. 5.31 Denoising and Compression Results of '01' Image, 0.25bpp

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

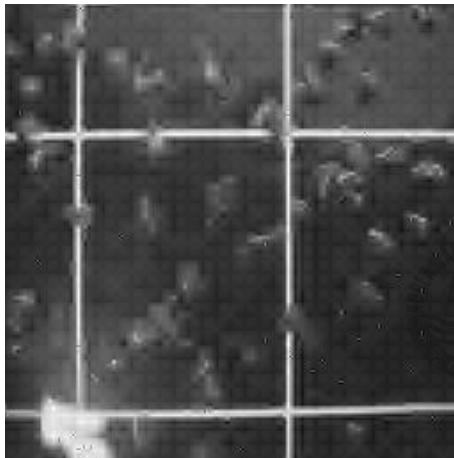
(c) Fixed Threshold (d) Proposed Method



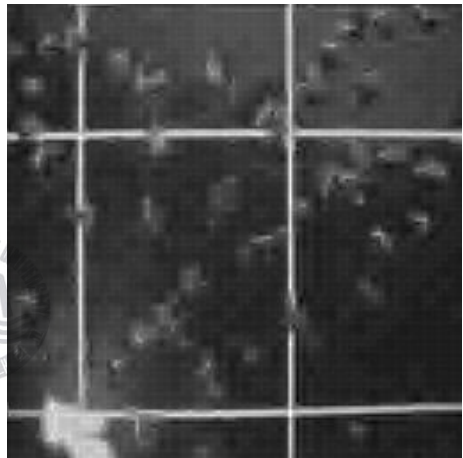
(a)



(b) (PSNR= 24.04dB)



(c) (PSNR= 21.16dB)



(d) (PSNR= 21.42dB)

그림 5.32 '02'의 잡음제거 및 영상압축, 0.25bpp

(a) 원영상 (b) 임펄스 및 가우시안 잡음영상

(c) 고정문턱값 방법 (d) 제안방법

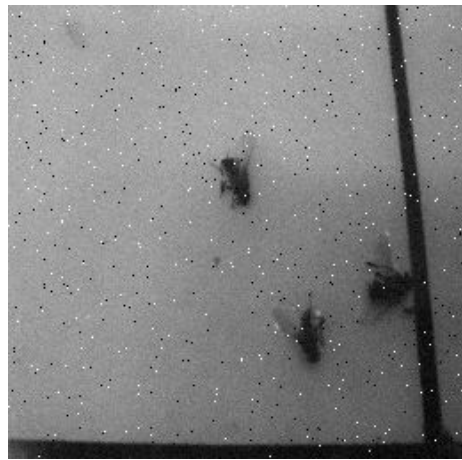
Fig. 5.32 Denoising and Compression Results of '02' Image, 0.25bpp

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Fixed Threshold (d) Proposed Method



(a)



(b) (PSNR= 25.19dB)



(c) (PSNR= 22.28dB)



(d) (PSNR= 32.30dB)

그림 5.33 '03'의 잡음제거 및 영상압축, 0.25bpp

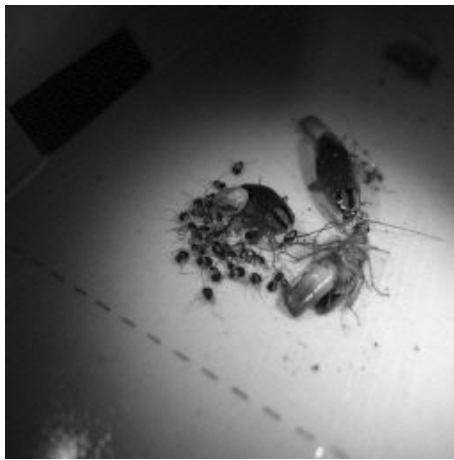
(a) 원영상 (b) 임펄스 및 가우시안 잡음영상

(c) 고정문턱값 방법 (d) 제안방법

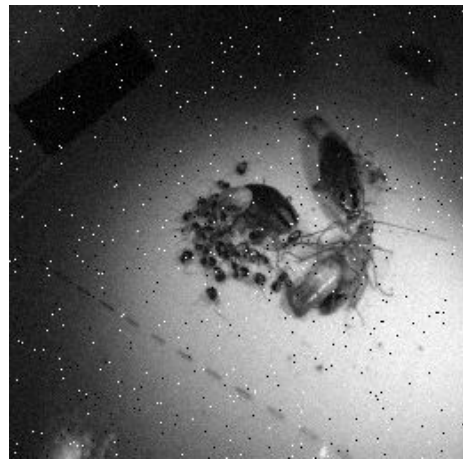
Fig. 5.33 Denoising and Compression Results of '03' Image, 0.25bpp

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

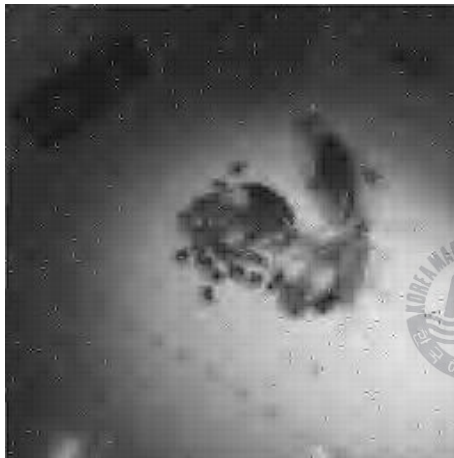
(c) Fixed Threshold (d) Proposed Method



(a)



(b) (PSNR= 24.01dB)



(c) (PSNR= 22.37dB)



(d) (PSNR= 23.07dB)

그림 5.34 '04'의 잡음제거 및 영상압축, 0.25bpp

(a) 원영상 (b) 임펄스 및 가우시안 잡음영상

(c) 고정문턱값 방법 (d) 제안방법

Fig. 5.34 Denoising and Compression Results of '04' Image, 0.25bpp

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Fixed Threshold (d) Proposed Method

그림 5.31은 '01' 영상의 실험 결과를 나타낸다. 그림의 (a)와 (c)에서 처럼 고정 문턱값을 이용한 압축의 경우 32:1 압축에서 임펄스 잡음이 나타나고 있



지만, 적응 문턱값 방법은 효과적으로 임펄스 잡음이 제거 된 것을 확인할 수 있었다. PSNR은 적응 문턱값 방법이 약 8.4dB 정도 높게 나타났다. 그림 5.32는 '02' 영상의 실험결과를 나타내고 있다. '01' 영상의 실험 결과와는 다르게 0.3dB 정도의 성능개선 모습을 확인할 수 있었다. 다만, 적응 문턱값 방법이 보다 임펄스 잡음이 현저하게 줄어든 주관적 화질을 보여주고 있다. 그림 5.33은 '04' 영상의 실험 결과이고, 기존 방법 대비 약 10dB 정도의 높은 PSNR 개선률을 보여주고 있다. 그림 5.34는 '04' 영상 실험 결과로 약 기존방법 대비 약 0.7dB 정도 개선되었지만 주관적 화질비교에서 적응 문턱값의 경우에 잡음이 효과적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 5.35부터 5.38까지는 5.31부터 5.34의 결과 영상을 미분한 것으로 각 방법의 임펄스 잡음제거 성능과 모서리 보존 능력을 평가하기 위한 것이다. 실험에 사용된 모든 영상에서 제안한 방법의 잡음제거 효과가 우수함을 쉽게 확인할 수 있다.

표 5.3은 32:1 압축률에서 각 영상에 대한 실험결과의 PSNR을 정리한 것으로, 고정 문턱값 방법과 적응 문턱값 방법의 PSNR 차이를 나타내었는데, 적응 문턱값을 이용한 방법의 PSNR이 높게 나타났다.

표 5.3 잡음제거 & 압축 실험 결과의 PSNR (0.25 bpp 압축비)

Table 5.3 PSNR of the Results for Denoising & Compression  
Experiment (0.25 bpp Compression Ratio)

| 영상      | 압축률<br>bpp | 고정문턱값+ WTQT<br>① | 적응문턱값+ WTQT<br>② | ②-①   |
|---------|------------|------------------|------------------|-------|
| '01' 영상 | 0.25       | 24.20            | 32.60            | 8.40  |
| '02' 영상 | 0.25       | 21.16            | 21.42            | 0.26  |
| '03' 영상 | 0.25       | 22.28            | 32.30            | 10.02 |
| '04' 영상 | 0.25       | 22.37            | 23.07            | 0.7   |



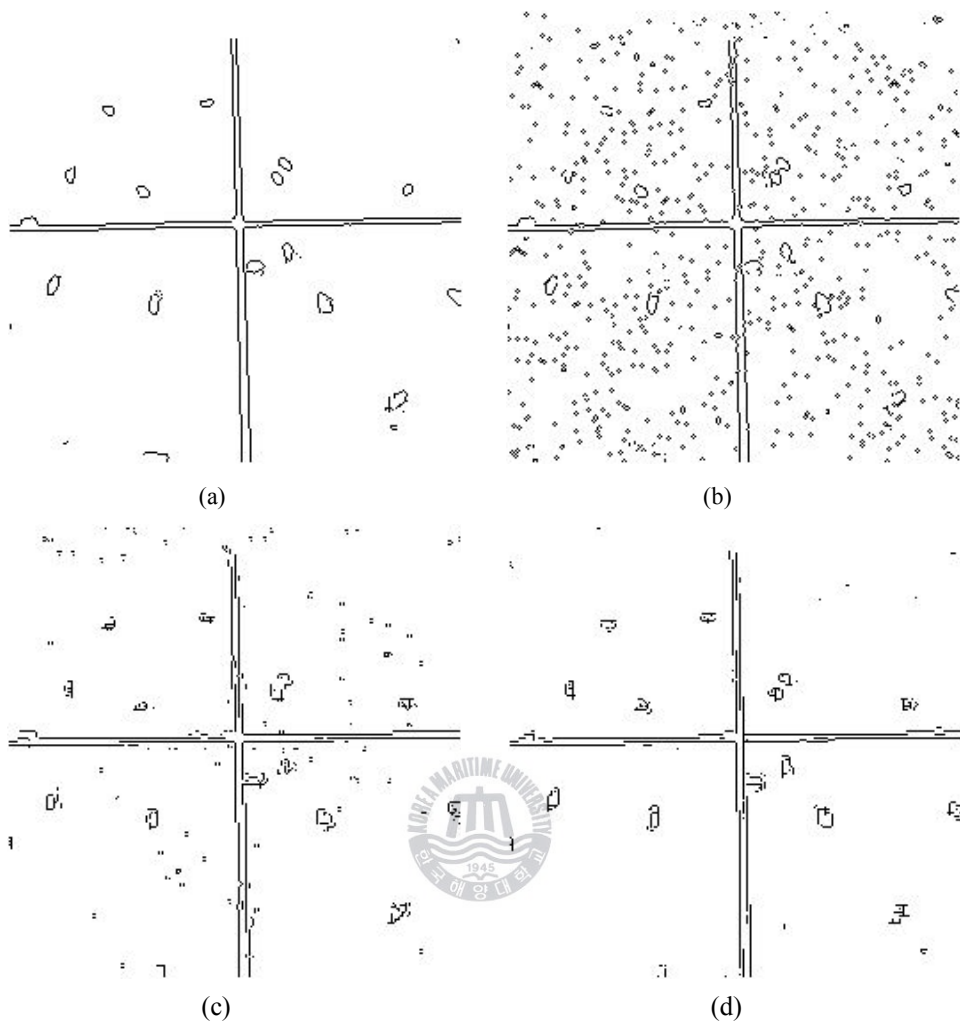


그림 5.35 '01'의 잡음제거 및 영상압축 미분결과, 0.25bpp

(a) 원영상 (b) 임펄스 및 가우시안 잡음영상

(c) 고정문턱값 방법 (d) 제안방법

Fig. 5.35 Differentiated Result of Denoising and Compression for the '01' Image, 0.25bpp

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Fixed Threshold (d) Proposed Method

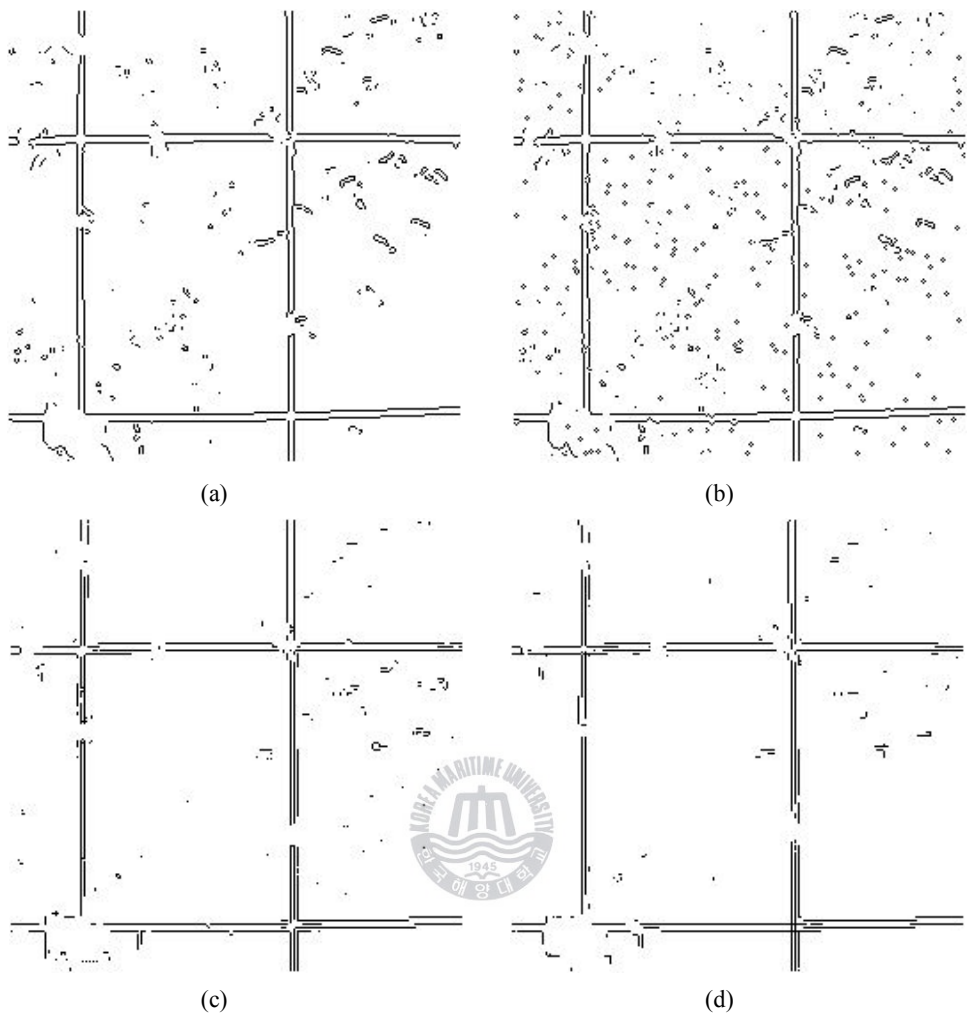


그림 5.36 '02'의 잡음제거 및 영상압축 미분결과, 0.25bpp

(a) 원영상 (b) 임펄스 및 가우시안 잡음영상

(c) 고정문턱값 방법 (d) 제안방법

Fig. 5.36 Differentiated Result of Denoising and Compression for the '02' Image, 0.25bpp

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Fixed Threshold (d) Proposed Method

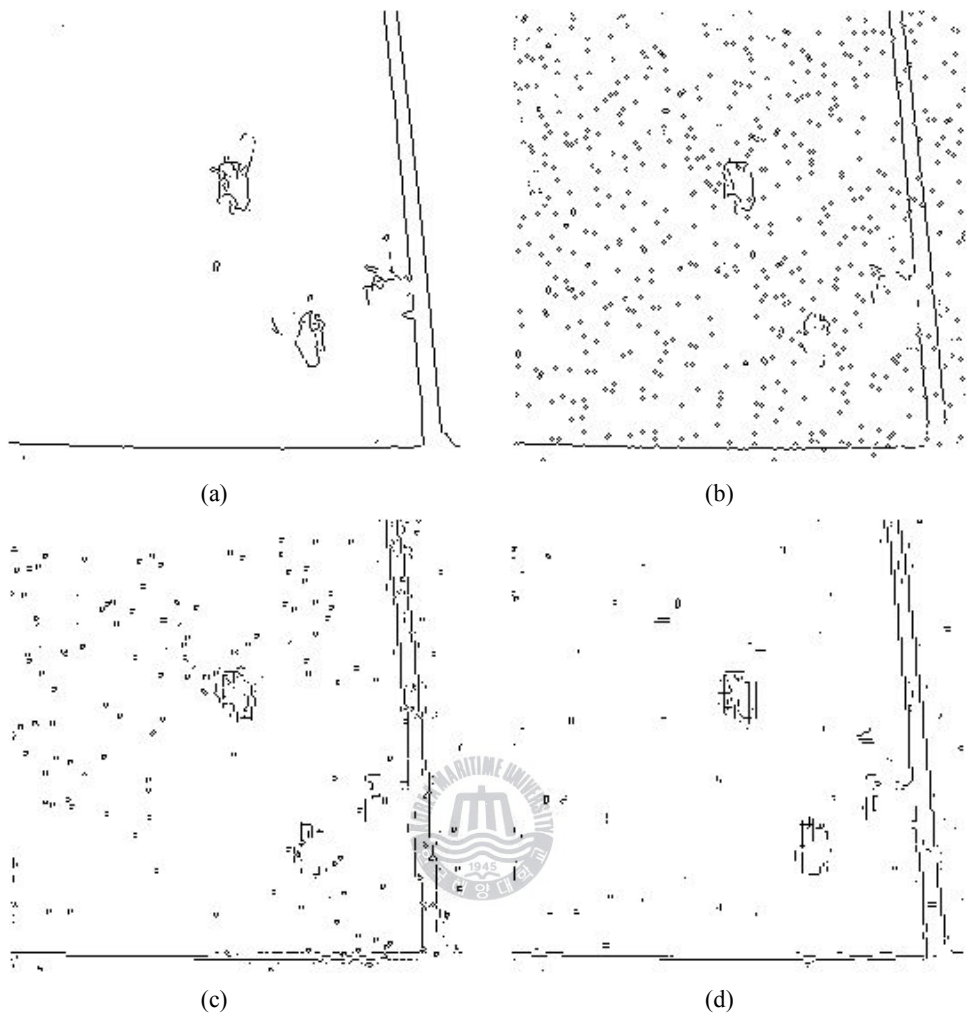


그림 5.37 '03'의 잡음제거 및 영상압축 미분결과, 0.25bpp

(a) 원영상 (b) 임펄스 및 가우시안 잡음영상

(c) 고정문턱값 방법 (d) 제안방법

Fig. 5.37 Differentiated Result of Denoising and Compression for the '03' Image, 0.25bpp

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Fixed Threshold (d) Proposed Method

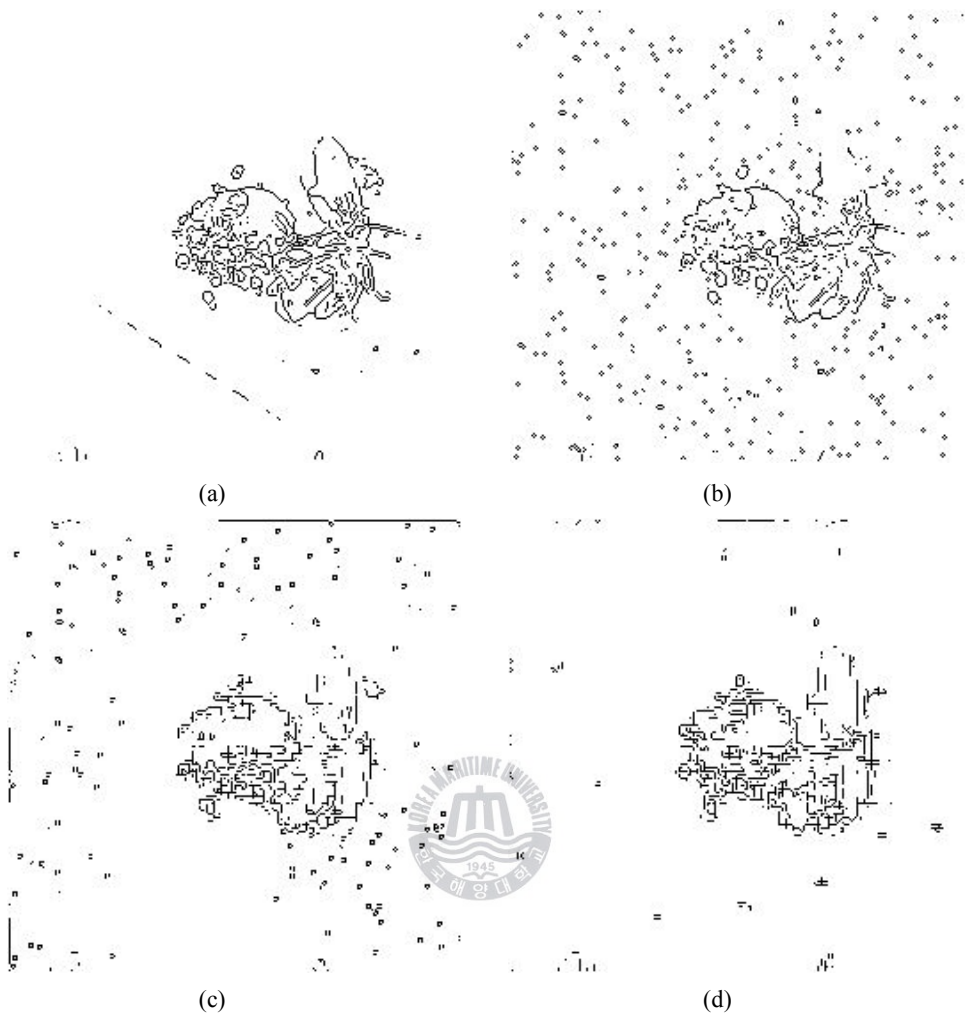


그림 5.38 '04'의 잡음제거 및 영상압축 미분결과, 0.25bpp

(a) 원영상 (b) 임펄스 및 가우시안 잡음영상

(c) 고정문턱값 방법 (d) 제안방법

Fig. 5.38 Differentiated Result of Denoising and Compression for the '04' Image, 0.25bpp

(a) Original Image (b) Impulse and Gaussian Noised Image

(c) Fixed Threshold (d) Proposed Method

## 제 6 장 결 론

본 논문에서는 압축 및 영상전송의 처리과정에서 존재할 수 있는 임펄스 잡음과 가우시안 잡음을 웨이브렛 변환 영역에서 제거하고 실험 영상을 압축하는 방법에 대해 다루었다. 특히, 최근 주목받고 있는 지그비 기반 네트워크 환경하에서 영상을 압축, 전송, 잡음을 제거하는 방법에 대하여 논의하였다.

지그비 네트워크 환경하에서 영상을 전송하기 위해서는 영상의 비트레이트를 최대한 낮추어 데이터량을 축소하는 것과 이 과정에서 발생할 수 있는 화질 열화로 인한 정보 손실을 최소화하는 것이 중요한 과제로, 식품위생과 관련한 비래해충 포획 및 모니터링 시스템에서 중요하게 사용되는 포획부 영상을 대상으로, 지그비 네트워크를 통한 원격지 모니터링 시스템을 가정하여, 그 처리과정에서 존재할 수 있는 임펄스 잡음과 가우시안 잡음을 제거하고, 잡음 제거된 영상 데이터를 압축하는 방법을 제안하고 실험을 통해 제안방법의 타당성을 확인하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 제안한 잡음제거 방법은 잡음으로 손상된 영상에 대하여 웨이브렛 변환 후, 상세 부분 대역에 대해 계수를 미분하여 임펄스 잡음의 위치를 나타내는 이진 마스크를 생성한다. 다음으로, 생성된 마스크를 통하여 잡음에 손상된 계수를 찾아내고 이를 주변 계수의 중앙값으로 치환하여 새로운 상세 부분대역 계수를 생성하고, 이에 대한 중앙절대편차를 이용하여 모서리와 잡음을 구분하는 기준으로 사용하는 것이다. 이와 같이 중앙절대편차를 이용한 방법은, 흔히 영상에 포함된 잡음의 통계량에 따른 적응 문턱값 선택 방법으로 크기가 큰 몇몇 변환계수에 의해 전체 평균이 바뀌는 표준편차를 이용한 문턱값 설정보다 효율적인 잡음제거가 가능함을 5.2절의 잡음제거 실험을 통해 확인하였다.

둘째, 본 연구에서 제안한 쿼드트리 기반 블록 양자화영상압축 방법은 웨이브렛 변환으로 다해상도 분해된 적외선 영상에 대해 픽셀간의 상관도와 '0'정보를 모아 효과적으로 압축할 수 있다. 이는 웨이브렛 변환된 계수가 스케일간

의 상관도와 에너지 집중도가 높기 때문에 쿼드트리 기법을 적용할 경우, 보다 효과적으로 데이터량을 압축할 수 있다는 원리에서 착안하였다. 제안한 압축방법의 타당성 검증을 위해, 5.3절에서, 기존의 DCT 압축방법과 비교 실험을 하였고 실험에 사용한 모든 영상에 대해 제안 방법이 기존 방법보다 주관적/객관적 평가에서 우수한 결과를 보였다. 또한, 5.4절에서는 잡음제거와 영상압축을 순차적으로 수행하는 과정에서, 영상압축에 관한 고정 문턱값을 적응 문턱값으로 수정하고, 잡음제거의 적응 문턱값 방법과 결합시켜 영상의 잡음제거와 압축의 성능을 동시에 개선하고자 하였다. 즉, 잡음제거 과정에서 각 대역별 문턱값을 데이터 통계량에 따라 가변적으로 설정한 적응 문턱값을 압축률 조절 변수로 사용하여, 주어진 압축율에서 효과적인 잡음제거 결과를 얻었다. 구체적으로, 영상의 화질 비교에 사용하는 PSNR과 주관적 영상비교 방법에 더하여, 미분영상의 PSNR 방법을 도입함으로써, 특히, 임펄스성 잡음의 제거효과를 정량화할 수 있었다.

향후 연구과제로, 본 논문에서 사용한 웨이브렛(DAUB-4) 이외의 다양한 웨이브렛으로 동일한 실험과정을 수행하고 그 결과를 비교하여 일반 영상처리에 효과적인 웨이브렛을 찾아내는 연구와 제안한 방법을 향상시킬 수 있는 알고리즘의 최적화 및 하드웨어 구현 등이 필요하다.

## 참고문헌

- [1] 남상엽, 정교일, 김성동, <<유비쿼터스 센서 네트워크>>, 도서출판 상학당, 2006.
- [2] (주)한백전자 기술연구소, <<ZigbeX를 이용한 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템>>, 아이티씨, 2006.
- [3] D. Estrin, D.Culler, K.Pister, and G. Sukhatme, "Connecting the physical word with pervasive networks", IEEE Pervasive Computing, pp. 59-69, 2002.
- [4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for wireless sensor networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, 2004.
- [5] 김종천 외, “Ad-Hoc 통신망 프로토콜 개발 동향”, SK Telecom Review 제12권 3호, pp.298~331, 2002.
- [6] 광철성, 정창우, 김진현, 김기문, “센서 네트워크에서 이동 가능한 노드에 대한 위치 인식 방법”, 한국해양정보통신학회논문지, 제12권 2호, pp. 385~390, 2008.
- [7] R. Szeczyk, A. Mainwaring, J. Polastre, J. Anderson, and D. Culler, "An analysis of a large scale habit monitoring application", SenSys'04: Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, pp.214-226, 2004.
- [8] 김기문, “전파 통신 관리 체계와 인력 운용에 관한 연구”, 박사학위논문, 경남대학교, 1993.
- [9] 최돈훈, 배성수, 최규태, <<지그비 기술과 활용>>, 도서출판 세화, 2007

- [10] 심재창, 김익동, <<지그비 기술의 응용과 실습>>, 홍릉과학출판사, 2007.
- [11] 남상엽, 송병훈, <<MOTE-KIT를 이용한 무선 센서 네트워크 활용>>, 도서출판 상학당, 2005.
- [12] 엄두섭, <<임베디드 네트워크 (개정판)>>, 생능출판사, 2006.
- [13] ZigBee Alliance, [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)
- [14] IEEE 802.15 WPAN TG4, [www.ieee802.org/15/pub/TG4.html](http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html)
- [15] P. Sayood, <<Introduction to Data Compression>>, Morgan Kaufmann, 1993.
- [16] R.C. Gonzalez and Richard E. Woods, <<Digital Image Processing>>, Prentice Hall, 2002.
- [17] 신종홍, 장선봉, 지인호, <<디지털 영상처리 입문>>, 한빛미디어, 2008.
- [18] C. S. Burrus, R. A. Gopinath, H. Guo, <<Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms A Primer>>, Prentice-Hall, 1998.
- [19] D. Marr, <<Vision>>, New York: Freeman, 1982.
- [20] A. Chambolle, R. A. DeVore, N. Lee, and B. J. Lucier, "Nonlinear Wavelet Image Processing: variational Problems, Compression, and Noise Removal Through Wavelet Shrinkage", IEEE Trans. on Image Processing, 7(3), pp. 319-335, 1998.
- [21] 곽철성, 김기문, “웨이브렛 변환 영상에 대한 쿼드트리 기반 압축방법”, 한국해양정보통신학회논문지, 제12권 10호, pp.1773~1779, 2008.
- [22] D. L. Donoho and I.M. Johnstone, "Ideal Spatial Adaptation via Wavelet Shrinkage", Jour. of the Amer. Stat. Asso., 90(432), pp. 1200-1224, 1995.



- [23] D. L. Donoho and I. M. Johnstone, "Ideal Spatial Adaptation Via Wavelet Shrinkage", *Biometrika*, 81, pp. 425-455, 1994.
- [24] R. N. Strickland, H. I. Hahn, "Wavelet Methods for Extracting Objects from Complex Backgrounds", *IEEE ICASSP*, Albuquerque, USA, pp.2997-2300, April 1996.
- [25] Z. Li, Z. K. Shen, "An Estimation Method Based on Wavelet Transformation for Infrared Image Noise", *IEEE ICASSP*, Albuquerque, USA, pp.2997-2300, April 1996.
- [26] S. Friha, M. Boulemden, "Meteorological Image Processing with Wavelets", *IEEE ICASSP*, Albuquerque, USA, pp.2997-2300, April 1998.
- [27] J. Morlet, "Sampling Theory and Wave Propagation, In NATO ASI series, Vol. 1, Issues in Acoustic Signal/Image Processing and Recognition", C. H. Chen, ed., Springer-Verlag, Berlin, pp. 233-261, 1983.
- [28] A. Grossmann and J. Morlet, "Decomposition of Hardy Functions into Square Integrable Wavelets of Constant Shape", *SIAM J. Math. Anal.*, pp. 723-736, 1984.
- [29] A. Croissier, D. Esteban, and C. Galand, "Perfect Channel Splitting by Use of Interpolation/Decomposition/Tree Decomposition Techniques", In *Int. Conf. on Info. Sciences and Systems*, pp. 447-446, 1976.
- [30] P. Burt and E. Adelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code", *IEEE trans. Comm.*, 31, pp. 482-540, 1983.
- [31] S. Mallat, "Multiresolution Approximations and Wavelet Orthonormal

Bases OF  $L_2(R)$ ", Trans. Amer. Math. Soc., pp. 69–87, 1989.

- [32] A. Haar, "Zur Theorie der Orthogonalen Funktionen-Systeme", Math Annal., pp. 331–371, 1910.
- [33] I. Daubechies, "Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets", Commun. on Pure and Appl. Math., 41(2), pp. 909–996, 1988.
- [34] A. Cohen and I. Daubechies, and J. C. Feuveau, "Biorthogonal Bases of Compactly Supported Wavelets", Commun. Pure and Appl. Math., 45, pp. 485–560, 1992.
- [35] R. Coifman, Y. Meyer, and M. Wickerhauser, "Wavelet Analysis and Signal Processing, In wavelet and their Applications", B. Ruskai et al. eds., Jones and Barlett Pub., Boston, pp. 153–178, 1992.
- [36] D. Gabor, "Theory of Communication", J. of IEE., 93, pp. 429–457, 1946.
- [37] C. K. Chui, <<An Introduction to Wavelets>>, Academic Press Boston, 1992.
- [38] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image Coding using Wavelet Transforms", IEEE trans. on Image Processing, 1(2), pp. 205–220, 1992.
- [39] M. Vetterli and J. Kovačević, <<Wavelets and Subband Coding>>, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1995.
- [40] Y. Meyer, Ondelettes sur l'intervalle, Rev. Mat. Iberoamer., 7, pp.115–133, 1991.